



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ANALÝZA STÁŘÍ VODY V TLAKOVÉ
STOKOVÉ SÍTI

ANALYSIS OF WATER AGE IN THE LOW PRESSURE SEWER NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Hana Kolková

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Hana Kolková
Název	Analýza stáří vody v tlakové stokové síti
Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] BERÁNEK, Josef; PRAX, Petr. Tlaková kanalizace. Vyd. 1. Brno : NOEL 2000 s.r.o., 1998. 110 s. ISBN 80-86020-08-8.
- [2] ČSN EN 1671. Venkovní tlakové systémy stokových sítí. Praha : Český normalizační institut, 1998
- [3] ČSN EN 752. Odvodňovací systémy vně budov. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [4] Wastewater Technology Fact Sheet. U.S. EPA [online]. September 2002, EPA 832-F-02-006, [cit. 2011-12-08]. Dostupný z <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P10099Q2.txt>
- [5] Odborné články ze seminářů a konferencí

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude zpracována rešerše odborné literatury v problematice vlivu stárí vody na jakost odpadních vod z tlakových stokových sítí. Následně bude provedena analýza stárí vody ve vybrané stokové síti. K práci budou využity simulační softwarové nástroje pro matematické modelování tlakových trubních sítí.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá stářím vody v tlakových stokových sítích. Blíže se zaměřuji na 3 zásadní problémy, které jsou vysokým stářím vody způsobeny – korozi, plyny v potrubí, zhoršenou jakost vody. Dále se práce zabývá výpočetními programy, díky kterým jsme schopni simulovat tlakovou stokovou síť a provést analýzu stáří vody v ní. Praktická část se zabývá konkrétním příkladem, a to dvěma úseky TSS v obci Podhradí nad Dyjí. Závěrem provádím vyhodnocení výsledků analýzy podle normy ČSN EN 1671.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tlaková stoková síť, analýza stáří vody, Epanet

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the analysis of water age in the low pressure sewer network. I focus more on three major issues caused by the age of water – corrosion, gases in the pipeline, deteriorated water quality. The thesis is also focused on computer programs, that are able to simulate the low pressure sewer network and analyze the age of water in it. The practical part of the thesis is focused on a particular example of low pressure sewer network that consists two sections in the town of Podhradí nad Dyjí. I evaluate the results according to the standards CSN EN 1671.

KEYWORDS

Low pressure sewer network, analysis of water age, Epanet

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Hana Kolková *Analýza stáří vody v tlakové stokové síti*. Brno, 2017. 50 s., - s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Hana Kolková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a věcné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ	5
2.1	Doba zdržení dle normy	5
2.2	Plyny vzniklé v potrubí	5
2.2.1	H ₂ S - Sulfan	6
2.2.2	Methan	8
2.2.3	Vodík	9
2.3	Vliv stáří vody na potrubí	9
2.3.1	Potrubí	10
2.3.2	Šachty, jímky.....	10
2.4	Jakost vod.....	11
2.4.1	CHSK	12
2.4.2	BSK	12
2.4.3	NL	13
2.4.4	N-NH ₄	13
2.4.5	N-NO ₃	13
2.4.6	N-NO ₂	14
2.4.7	N _{celk}	14
2.4.8	P _{celk}	14
2.4.9	Odpadní vody z TSS a jejich působení na ČOV	14
2.4.10	Srovnání odpadních vod z TSS s vodami ze stok gravitačních	15
2.5	Opatření proti problémům na síti.....	16
2.5.1	Provzdušňování	16
2.5.2	Proplachování.....	17
2.5.3	Trubní ježek	18
2.6	Analýza stáří vody pomocí výpočtu	18
2.6.1	Matematický výpočet.....	18
2.6.2	Simulační softwary	18
3	ANALÝZA STÁŘÍ VODY – PODHRADÍ NAD DYJÍ.....	22
3.1	Popis stávající tlakové stokové sítě.....	22
3.1.1	Použité vstupní údaje	22
3.2	Topologické schéma tlakové kanalizace – profily potrubí (4)	23
3.2.1	Provozní zatížení	24
3.3	Zpracování v Epanetu.....	24

3.3.1	Typ míchání – Mixed [5]	25
3.3.2	Typ míchání – FIFO [5]	28
3.4	Analýza stáří vody	32
4	ZÁVĚR	34
5	POUŽITÁ LITERATURA	36
	SEZNAM TABULEK	40
	SEZNAM OBRÁZKŮ	41
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	42
	SUMMARY	43

1 ÚVOD

V této práci jsem zaměřila na problematiku zhoršené jakosti odpadních vod z tlakových stokových sítí (TSS) způsobenou zvýšeným stářím vody. To způsobuje v potrubí, na jeho výstupu i na čistírnách odpadních vod problémy.

Tento způsob odkanalizování se řadí mezi způsoby alternativní a pochází z USA, kde vznikl ke konci šedesátých let minulého století. Následně se rozšířil do zemí celého světa. V České republice se poprvé objevil v polovině 90. let 20. století. [25]

Tlaková stoková síť se buduje v oblastech s rovinatým nebo se zvlněným terénem, ve vilové zástavbě, v rekreačních oblastech, zkrátka tam, kde je zástavba velmi rozptýlená. Právě toto jsou příčiny vysokého stáří odpadních vod. [26]

V průběhu práce jsem se zaměřila na 3 zásadní problémy způsobené vysokým stářím vody.

- Prvním z nich jsou plyny vzniklé v potrubí. Nejvíce problému způsobuje sulfan – H_2S , proto jsem mu při zpracování bakalářské práce věnovala větší pozornost než plynům ostatním.
- Druhým zásadním problémem je biogenní síranová koroze. Zaměřila jsem se na její účinky vůči jednotlivým materiálům potrubí. Konkrétně na PVC, PE a betonové potrubí a železobetonové a plastové šachty.
- Třetí rozebíranou problematikou, je vliv stáří vody na jakost vody. V práci jsem řešila rozdíl ukazatelů kvality odpadních vod z tlakové stokové sítě oproti jakostem odpadních vod z gravitačních stokových sítí. Jedná se o tyto ukazatele: CHSK, BSK₅, NL, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, N_{celk.}, P_{celk.}. Dále zmiňuji i problémy, na které je třeba si dát pozor u čistíren odpadních vod s přítokem z TSS.

Následně jsem se zabírala způsobem výpočtu stáří vody, jak matematickým, tak pomocí softwarů k tomu určených. Pro přiblížení jsem si vybrala 5 programů, které umožňují modelování hydraulických modelů se sledováním stáří vody. Zvolenými programy jsou: Mike urban – Mouse, Pipe 2016: KYPipe, WaterCAD, Aquis Operation a Epanet.

V druhé části bakalářské práce, praktické části, jsem provedla analýzu stáří vody v tlakové stokové síti. Výsledek jsem porovnávala s požadavky, které klade norma. Jedná se o část obce Podhradí nad Dyjí, konkrétně o dvě části TSS, které odvádí odpadní vodu z oblasti 15 rodinných domů, sloužících především k rekreačním účelům. Nutností pro provedení analýzy bylo sestavení simulačního modelu v programu, ve kterém je možno zkompletovat hydraulický model sítě a analýzu provést. V mém případě se jedná o program Epanet 2.0. Tento program byl zvolen kvůli tomu, že práce v něm je jednoduchá, rychlá. Dále také proto, že na jeho bázi byla vytvořena většina programů umožňující zabývat se touto problematikou. Model sítě jsem vytvořila na základě dodaných podkladů, a to situace stavby potrubí a

podélných profilů obou úseků sítě. Také bylo potřeba určit hodinovou produkci odpadních vod, při které jsem vycházela z předpokladu, že je shodná se spotřebou pitné vody. Stejně tak jsem předpokládala, že i specifická potřeba vody na jednoho obyvatele je shodná se specifickou produkcí vod odpadních. Po zadání hodnot produkce odpadních vod byla provedena analýza stáří vody a vyhodnocena v souladu s normou ČSN EN 1671 Venkovní tlakové systémy stokových sítí.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Pravděpodobnost výskytu vysokého stáří odpadních vod je na místech, jako jsou odlehle domy, vilové zástavby, v lokalitách se zástavbou využívanou rekreačně. V takových zástavbách dochází k malým rychlostem proudění v potrubí, což vede k usazování částic na dno. Důsledkem je vznik biofilmu (biologického povlaku) na vnitřní straně potrubí. Stáří vody ovlivní celkovou jakost odpadních vod. První zdržení může nastat již v samotné domovní čerpací jímce (např. u systémů předřazených septiků). Při dlouhém pobytu odpadních vod v potrubí dochází k anaerobním podmínkám, ty jsou počáteční podmínkou ke vzniku níže zmíněných problémů. V anaerobním prostředí dochází k redukci dusičnanů na dusitany a následnou redukci na amoniakální dusík. Další redukce látek, ke které může dojít, je redukce sloučenin síry, z té vzniká sirovodík. Ten je pro člověka nebezpečný a silně zapáchá. Nepříznivé účinky projevuje i vůči materiálu potrubí. V tlakových stokových sítích dochází ke vznikům dalších plynů, (více kapitola 2.2). Do jisté míry se dá těmto jevům zabránit, například proplachováním. Musíme však brát v úvahu, že ne vždy si může daná oblast pravidelné proplachování dovolit. [20]

Tato kapitola se bude zabývat problematikou stáří vody v tlakové stokové síti a nejzásadnějšími problémy přicházejícími s dlouhou dobou zdržení. Při dlouhé době zdržení dochází v potrubí mimo jiné ke třem zásadním problémům na sobě závislých: vznik metanu a H_2S , poškození povrchu potrubí - koroze, ovlivnění kvality odpadních vod a následné problémy při čištění na ČOV.

2.1 DOBA ZDRŽENÍ DLE NORMY

Doba zdržení odpadních vod je ovlivněna několika faktory, samotná doba však dle normy ČSN EN 1671 nesmí přesáhnout dobu 8 hodin. Tato doba může být různá v závislosti na národních a místních předpisech i na místních podmínkách. Snažíme se, aby stáří kalu bylo co nejmenší. Pokud však není možno dodržet dobu 8 hodin, musí být navržena zvláštní opatření proti zápachu a korozi, a systémy na ochranu životního prostředí. [23]

2.2 PLYNY VZNIKLÉ V POTRUBÍ

V potrubí se mohou vyskytovat plyny původu chemického, atmosférického i biologického. Co se tlakového potrubí týče, nejpodstatnější jsou poslední 2 zmíněné. Rozpustnost plynu ve vodách je ovlivněna 4 parametry: 1) parciálním tlakem plynu, 2) teplotou, 3) složením vody, 4) složením plynu. [19] Platí zde Henryho zákon, který zní: Množství plynu rozpuštěné za dané teploty v kapalině je přímo úměrné tlaku plynu nad kapalinou.

Plyny jsou v potrubí nežádoucí nejen z důvodu jejich vlastností (zápach, toxicita, výbušnost), ale i z důvodu změn objemového průtoku. Časem dochází k slučování bublin a vzniku tzv. pytlů. Ty způsobují nestacionární proudění, ztráty v potrubí. Proto je nutné jejich odvětrávání.

2.2.1 H₂S - Sulfan

Jedná se o plyn způsobující největší problémy v síti, z toho důvodu se na něj zaměřím více než na ostatní.

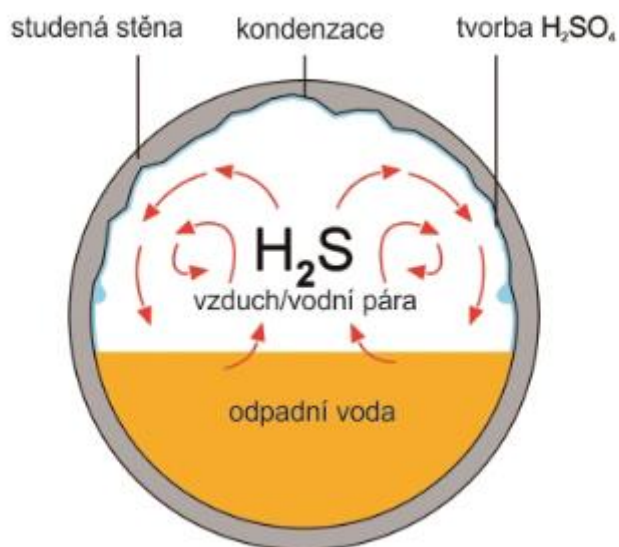
Popis

Jedná se o bezbarvý plyn, který je dobře rozpustný nejen ve vodě. Je jedovatý pro člověka už v malých dávkách, kdy dokáže paralyzovat dýchací ústrojí. Výrazně ovlivňuje senzorické vlastnosti vody. Odér, který je pro vody s obsahem sirovodíku charakteristický, voda získává při koncentraci H₂S 0,0011 mg·l⁻¹. [21] Sulfan je těžší než vzduch. Způsobuje závažné problémy, mezi které se může řadit:

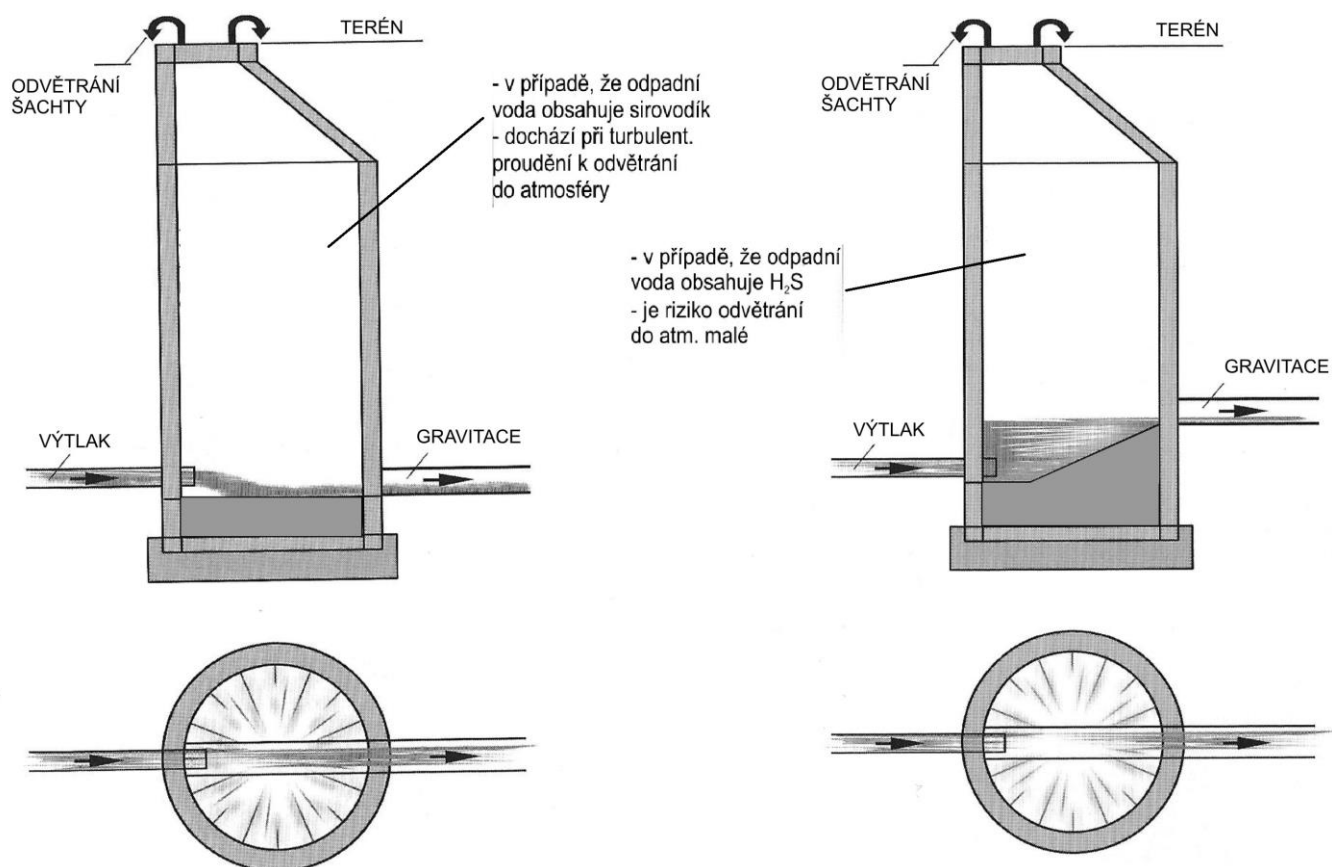
- Koroze, která je způsobena kyselinou sírovou. Může způsobit poškození kanalizačního potrubí i čistíren odpadních vod
- Toxická atmosféra v kanalizaci
- Zvýšený růst vláknitých bakterií, které následně narušují provoz čistírny odpadních vod

Vznik

Vznik sulfanu je podmíněn anaerobním prostředím, kdy se sírany přeměňují na sirovodík. Jedná se o biochemickou redukci sirovodíku, vznikající po době zdržení delší než 30 minut, který se vyskytuje jak v plynném, tak v kapalném skupenství. Jedná se o hnilobné procesy v odpadní vodě, vznikající po vyčerpání rozpuštěného kyslíku. Sirovodík nejčastěji vzniká v dlouhých tlakových kanalizacích, ve kterých je voda vzduchotěsně oddělena a vody pak nemůžou absorbovat kyslík ze vzduchu. K uvolňování dochází na konci potrubí, například v předávacích šachtách. Zde může dojít k turbulentnímu proudění, přičemž se sirovodík velmi snadno uvolňuje. Obohacený vzduch pak uplatňuje škodlivé účinky, které má. [1] Parametry ovlivňující vznik sulfanu jsou doba zdržení, průtočná rychlost, teplota, redox-potenciál a obsah rozpuštěného kyslíku. Při malé průtočné rychlosti dochází k usazování kalů, v těchto místech a na stěnách potrubí vzniká biologický povlak – biofilm. V něm pak vzniká H₂S. [23] Při těchto procesech prudce klesá pH a sirovodík působí agresivně na stěny potrubí.



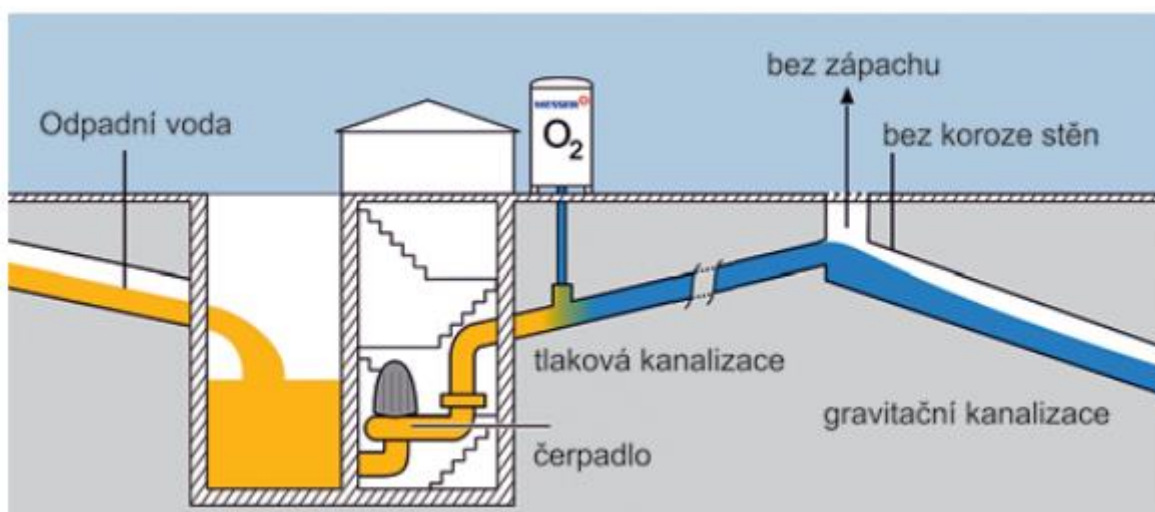
Obrázek 1. Tvorba kyseliny sírové na vnitřní straně kanalizace [1]



Obrázek 2. Axiální předávací šachty na tlakové kanalizaci – zleva nejčastější, ale ne moc vhodná – vpravo vhodné provedení šachty [2]

Jeden ze způsobů zabránění tvorbě sirovodíku v kanalizaci je proplachování stlačeným kyslíkem, nikoli stlačeným vzduchem, jak tomu bývá. Protože voda pozbývá balastní dusík, čistý kyslík se ve vodách rozpouští až pětikrát rychleji než atmosférický kyslík. Jsme též schopni dosáhnout vyšší koncentrace kyslíku ve vodě, dochází tak k mnohem efektivnějšímu okysličení odpadních vod. K akumulaci sulfanu však dochází ihned po vyčerpání vzdušného kyslíku znova. [34]

Kyslík zároveň zabraňuje tvorbě organických thiolů. Jedná se o organické sloučeniny síry, látky silně zapáchající. Mezi další opatření při tvorbě sirovodíku může být aplikace různých látek na chemickém či biologickém základu. [1] Bylo však zjištěno, že některé z těchto strategií snižují i tvorbu methanu v sítích. Tyto tradiční řešení dávkování zahrnují však neustálé přidávání chemikálií k odstraňování již vytvořeného sulfidu. Bývají však drahá nebo řeší problém jen částečně. [33]



Obrázek 3. Vnos kyslíku do tlakové kanalizace [1]

2.2.2 Methan

Popis

Jedná se o plynou látku bez barvy a zápachu. Plyn je řazen mezi silné skleníkové plyny. Má podíl na globálním oteplování přibližně 21 až 23 krát než CO_2 . [33] Je lehčí než vzduch. S kyslíkem může reagovat explozivně, i když má vysoký bod samozáhu.

Vznik

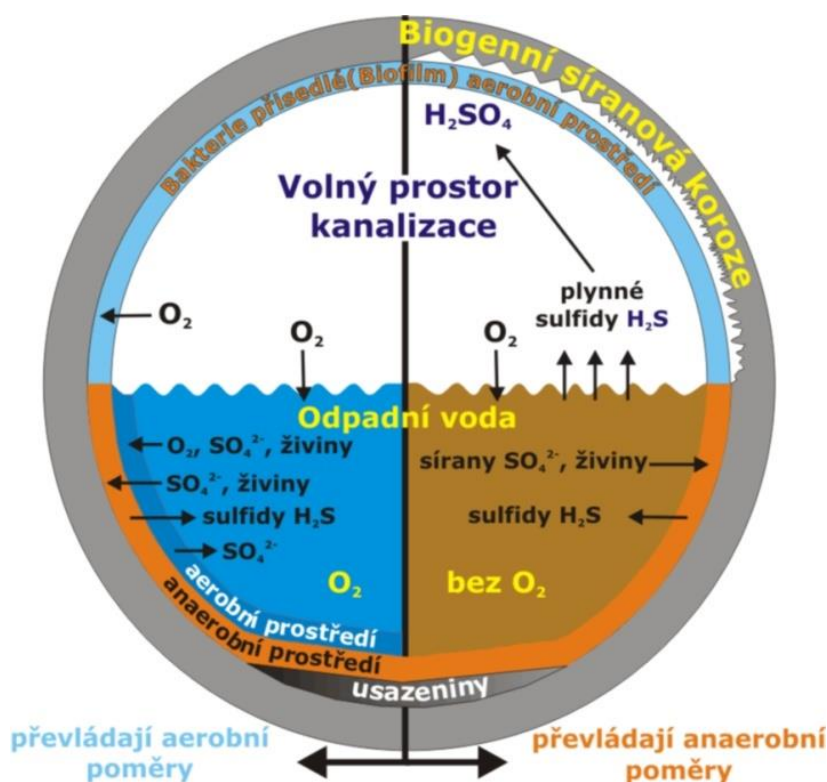
V atmosféře se vyskytuje hlavně jako produkt rozkladu biogenních látek. Vznik v potrubí je konečným výsledkem redukce organických látek v anaerobním prostředí. Stejně jako methan může vznikat jak v samotném potrubí, tak v čerpacích jímkách. [19]

2.2.3 Vodík

Vodík se vyskytuje v malých dávkách jako doprovodný produkt při reakcích methanu. [19]

2.3 VLIV STÁŘÍ VODY NA POTRUBÍ

Hlavním důvodem koroze stavebních materiálů, potrubí i armatur je kyselina sírová, která vzniká v potrubí ze sirovodíku díky působení bakterie *thiobacillus* vyskytující se na rozhraní voda – vzduch.



Obrázek 4. Procesy vedoucí ke vzniku zápachu nebo kyseliny sírové [2]

2.3.1 Potrubí

PVC

PVC je materiál odolný vůči působení H_2S vznikajícího při zahnívání. Používá se v mnohem větší míře v USA. Oproti PE potrubí se snadněji provádí montáž.

PE

Materiál je odolný vůči působení H_2S vznikajícího při zahnívání. Je bezpečnější proti úniku splaškových vod, jelikož jeho spojování probíhá svařováním „natupo“, tím se minimalizuje počet spojů. Je dostupný v menších světlostech, a tím pádem je častěji používán pro přípojky.

Beton

Vůči H_2S odolný není. Při koncentraci NH_4^+ nad $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ může docházet k reakci NH_4^+ iontů s hydroxidem vápenatým a způsobit tak velmi rychlou korozi potrubí. [21] Bohužel je tento materiál často používán jako materiál pro vtokovou šachtu kombinovaného systému, kde je tlaková větev zaústěna.

Další přípustné materiály jsou HDPE, sklolaminátové trouby, nerez, tvárná litina, běžná ocel a kameina s glazurou. U ocelového potrubí je vyžadována vnitřní i vnější protikorozi ochrana, např. epoxidová pryskyřice, bitumenové nátěry, cementová výstelka – nutná i u potrubí z tvárné litiny.

2.3.2 Šachty, jímky

Železobeton, beton

V dnešní době se již od těchto typů šachet ustoupilo. Většinou se jedná o šachty prefabrikované. Jako ochranná vrstva se proti agresivním látkám používají postříky bitumenu nebo vrstva kamenouhelného dehtu.

Některé firmy budují šachty z monolitického betonu. Zde jsou použity PE desky jako ztracené bednění – vnitřní vystýlka.

Plastické hmoty

Šachty tvořené čistě tímto materiálem se využívají zřídka. Je to nevýhodné z hlediska rozměrů šachet. Při usazování se musí brát v potaz možnost vyplavení, které je nežádoucí, a proto je mu třeba zabránit. Nevýhodné je i ekologické hledisko.

V kombinaci s dalším materiálem se jedná v dnešní době o nejčastěji vyskytující se materiál.



Obrázek 5. Čerpací jímka pro tlakovou kanalizaci [36]

Je důležité dbát na výběr materiálu stoky, na jeho korozivzdornost, případně na jeho protikoroziní vystýlku. Tímto rozhodnutím ovlivníme jak délku životnosti potrubí, tak provozu sítě. Zpomalíme účinek staré odpadní vody na potrubí.

2.4 JAKOST VOD

Vody z tlakových stokových sítí mají stejné složení jako odpadní vody tekoucí ve stokách gravitačních až na rozdíl, který je shodný pro TSS a podtlakové sítě, že nedochází k vniknutí balastních vod do sítě. Potencionální nebezpečí vniku vod z okolí do sítě může hrozit při poškození gravitační domovní přípojky nebo jejím špatném napojení na domovní čerpací jímku.

Stářím odpadních vod je ovlivněna jakost odpadní vody. CHSK – chemická spotřeba kyslíku, BSK – biologická spotřeba kyslíku, množství rozpuštěných RL a nerozpuštěných látek NL ve vodách patří mezi nejdůležitější ukazatele jakosti odpadní vod. Neméně důležitými ukazateli jsou $P_{\text{celk.}}$, které vypovídají o množství fosforu ve vodách, $N-NH_4$ – amoniakální dusík, $N-NO_3$ – dusičnany, $N-NO_2$ – dusitany a celkové množství dusíku $N_{\text{celk.}}$ obsažené v odpadních

vodách. [19] Oproti klasickému odvodu odpadních vod je koncentrace znečištění v TSS vyšší. Postiženy jsou především ukazatele ovlivněné oxidačně-redukčními procesy, a to BSK, CHSK, N_L a $N-NH_4$. [20] Vliv na ukazatele má i teplota okolí – v letních měsících probíhají anaerobní procesy v potrubí rychleji. Rychleji se tak vyčerpává rozpuštěný kyslík. [24]

Významnou složku odpadních vod tvoří odpadní látky vyloučené metabolismem, jako jsou moč a fekálie, z kterých pochází až 80 % organických látek. [18]

Tabulka 2.1. Látky obsažené v moči [19]

látky	Na	L	CL ⁻	P	S	močovina
g/obyv.den	5,0	2,0	9,0	1,2	2,7	20-30

Dalšími zdroji organického znečištění jsou zbytky jídla, jak rostlinného, tak živočišného původu. Anorganické látky vnikají do vod z různých zdrojů, jimi mohou být například prací prášky nebo jiné čisticí prostředky.

Tabulka 2.2. Produkce znečišťujících látek v g/obyv. den [19]

	organické	anorganické	celkové	BSK ₅	N	P
Produkce celková dle ČSN 75 6401						
nerozp.látky	40	15	55	30	1	0,2
z nich usaditelné	30	10	40	-	-	-
rozp.látky	50	75	125	30	10	2,3
látky celkem	90	90	180	60	11	2,5
Produkty metabolismu						
látky celkem	80	30	110	-	10	1,6

2.4.1 CHSK

Chemickou spotřebu kyslíku definujeme jako množství kyslíku, které se přesně za vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě se silným oxidačním činidlem. Zjednodušeně CHSK vyjadřuje celkový obsah organických látek ve vodách. Jako oxidační činidlo může být použit manganistan draselný – CHSK_{Mn}, nebo dichroman draselný CHSK_{Cr}. Pokud je uvedeno CHSK bez indexu, zpravidla se jedná o CHSK_{Cr}. [22]

Každá látka se oxiduje jiným činidlem a může být oxidována do jiného stupně. Stupeň oxidace organických látek lze porovnat s teoretickou spotřebou kyslíku – TSK. Ta udává množství gramů kyslíku potřebné k úplné oxidaci 1g určité látky podle stechiometrie na oxid uhličitý a vodu. Výsledky stanovení se udávají v $mg \cdot l^{-1}$. [21]

Za ideálních podmínek bude tato hodnota dvojnásobná oproti hodnotě BSK₅.

Hodnoty koncentrací CHSK na TSS bývají oproti koncentracím z gravitačních stokových sítí vyšší.

2.4.2 BSK

Jedná se o biochemickou spotřebu – množství rozpuštěného kyslíku spotřebováno mikroorganismy za definovaných podmínek při biochemické oxidaci organických látek

v jednom litru vody. Definice zjednodušeně zní: BSK charakterizuje míru znečištění vody organickými látkami biochemicky rozložitelnými. Rozdíl oproti CHSK je ten, že postihuje látky rozložitelné i nerozložitelné. Výsledky stanovení se udávají v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Rozklad probíhá v laboratořích při 20 °C po dobu 20 dnů. [22]

BSK₅ se používá kvůli využitelnosti výsledků. Proces inkubace probíhá 5 dní při 20 °C v uzavřených lahvích. Proces probíhá ve tmě, aby se předešlo fotosyntetické asimilaci případných řas obsažených ve vzorku. Kyslíkem zde vzniklým by docházelo k snižování skutečné hodnoty BSK. [21]

Hodnoty koncentrací BSK₅ na TSS bývají oproti koncentracím z gravitačních stokových sítí vyšší. [24]

2.4.3 NL

Jedná se o nerozpuštěné látky. Dělí se na usaditelné a neusaditelné a plovoucí, mezi ty jde zahrnout například textilie, zbytky potravy, papír. Do této skupiny patří i plasty, ty by se však v kanalizaci měly objevovat minimálně. Množství nerozpuštěných látek lze stanovit dle zachyceného množství na filtrech, centrifugací. Jedná se především o látky pocházející z lidských exkrementů, jako jsou lipidy a bílkoviny. [18] Na výstupu z alternativních způsobů odkanalizování je koncentrace nerozpuštěných látek až čtyřikrát vyšší než u stok gravitačních. [24]

2.4.4 N-NH₄

Amoniak, resp. amonné ionty, dusičnany a dusitany mají, co se týče anorganických dusíkatých sloučenin ve vodách, největší význam. Tvoří velice dobře rozpustné sloučeniny. Amoniak se vyskytuje ve dvou formách, a to v disociované jako amonné ionty NH_4^+ a nedisociované, resp. hydratované formě jako $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Disociace je důležitá z hlediska toxického působení. Do poměrně vysokých koncentrací je disociovaná forma neškodná, kdežto nedisociovaná forma působí toxicky. Disociací dusitanů a dusičnanů ve vodném roztoku uvolňují ionty NO_3^- a NO_2^- . [19] Koncentrace N-NH₄ bývá na výstupech z tlakové stokové sítě vyšší než na výstupech ze stok odváděných gravitačně. Jedná se o 1,5 až 2 násobek. [24]

Poměrem BSK₅ ku N-NH₄ lze vyjádřit závislost biologicky rozložitelných látek a amoniakálního dusíku. Čím menší je hodnota vyjadřující tento poměr, tím větší je ve vodě stupeň anaerobního rozkladu dusíkatých látek. [18]

2.4.5 N-NO₃

NO_3^- dusičnany jsou finálním produktem při nitrifikaci dusíkatých sloučenin. Mezistupněm mezi vzniklými dusičnany z původního amoniaku jsou dusitany – NO_2^- . Dusičnany se do odpadních vod dostávají ze splachu z okolí především v zemědělských oblastech, jelikož jsou součástí vyžívaných hnojiv. [18]

2.4.6 N-NO₂

Dusitany vznikají oxidací amoniakálního dusíku nebo při denitrifikaci a redukcí dusičnanů. Z toho vyplývá, že se jedná o sloučeniny velmi nestálé. Do odpadních vod se dostávají z průmyslových odpadních vod. Především z výroben barviv a strojírenské výroby, kde se vyskytují jako složka obsažená v chladících a nemrznoucích kapalinách.

V alternativních způsobech dopravy odpadní vody, tudíž v podtlakových sítích a sítích tlakových, je jejich výskyt jen v malých koncentracích. [18]

2.4.7 N_{celk.}

Celkový dusík je hodnota vyjadřující jak dusík organický, tak anorganický. Mezi anorganický dusík řadíme dusík amoniakální, dusičnany i dusitany, vzniklé jeho oxidací. Mezi organický dusík lze zařadit například dusík pocházející z močoviny.

$$N_{celk} = N_{anorg} + N_{org} \quad (2.1)$$

kde N_{celk.} celkové množství dusíku

N_{anorg} množství anorganického dusíku

N_{org}množství organického dusíku

Z výše uvedeného je zřejmé, že s rostoucí koncentrací N-NH₄ musí růst i koncentrace N_{celk.}, tudíž stejně jako vyšší koncentrace N-NH₄ na výstupu z TSS je i N_{celk.} vyšší na výstupu z TSS než na výstupu z gravitačních stok. [24]

2.4.8 P_{celk.}

Fosfor můžeme rozdělit dle původu na organický a anorganický nebo na rozpuštěný a nerozpuštěný. Je součástí moči, především ve formě fosfátů. Druhá nejčastější forma výskytu je v podobě polyfosfátů, ty jsou součástí pracích prostředků. [18] Ve TSS je jeho koncentrace zvýšena oproti stokám gravitačním.

2.4.9 Odpadní vody z TSS a jejich působení na ČOV

Při úpravě jakosti vody z tlakových stokových sítí na čistírnách je třeba brát v potaz reakce proběhlé v anaerbním prostředí potrubí oproti vodám z gravitačních sítí. Návrh ČOV tak závisí na způsobu odkanalizování území. U návrhu ČOV, do které přitéká odpadní voda z tlakových stokových sítí, je důležité počítat s potřebnou úpravou pH odpadní vody, a to ať už na stupni biologického čištění, nebo před ním. Vyšší hodnota pH znamená riziko pro aktivovaný kal (toxicita). Dále je nutno počítat s větší produkcí methanu. To pro ČOV

znamená uskutečnit nutná bezpečnostní opatření, například instalace detektorů plynů, které budou kontrolovat jeho přípustné množství. Nesmíme zapomenout ani na mnohem menší přítoky, z čehož vyplývají následné menší dimenze nádrží. Celkové řízení ČOV se bude lišit od čistíren s přítokem z gravitačních stok. Především u „malých ČOV“.

Za předpokladu, že na ČOV bude přitékat voda pouze z TSS, je možné u mechanického stupně předčištění vynechat zařízení sloužící k hrubému předčištění odpadních vod. Nejedná se pouze o česle hrubé a norné stěny, ale i o česle jemné a zařízení sloužící k rozměňování shrabků. Je možné vynechat i lapák písku, to se však nedoporučuje. Lapák písku totiž snižuje organické znečištění BSK. Pokud zůstane lapák písku zařazen v technologickém procesu čištění vod, je možné za určitých podmínek přeskočit v následujícím kroku zařazení usazovací nádrže. K této možnosti může dojít například při zařazení aktivační nádrže s aerobní stabilizací kalu. Dalším příkladem je potřeba zanechání vyššího organického znečištění potřebného pro určité systémy biologického čištění. Další možnosti mechanického předčištění v podobě lapáků olejů a tuků se zpravidla nenavrhují.[27] Co se týče biologického stupně čištění, je vhodné volit aktivační nádrž, ve které bude probíhat denitrifikace a nitrifikace, sekundární bude odstranění kalu v dosazovací nádrži. Nitrifikační proces, při kterém probíhá biochemická oxidace, přeměny přítomný amoniakální dusík na dusitan a dále na dusičnany. Denitrifikační proces pak způsobí přeměnu dusičnanů zpátky na dusitany a následně dojde k uvolnění elementárního dusíku, který je odvětrán do ovzduší.

Pokud je odpadní voda z TSS promíchávána s odpadní vodou ze stok gravitačních, dochází k jejímu naředění, které způsobí snížení hodnot ukazatelů závislých na hodnotách oxidačně-redukčního potenciálu. [28]

Obecně se liší koncentrace jednotlivých znečištění územím, z kterého je voda odváděna, ale i délkou tratě, kterou musí odpadní voda putovat. Navrhování technologického postupu u ČOV je tedy velmi individuální. [24]

2.4.10 Srovnání odpadních vod z TSS s vodami ze stok gravitačních

Při srovnání vod z tlakových stokových sítí a odpadních vod z gravitačních sítí je jejich charakteristika značně odlišná. Na tlakové stokové síti je vyšší koncentrace látkového i bilančního látkového znečištění. Vyšší koncentrace znečištění jsou především u „kyslíkových“ ukazatelů. To jsou CHSK, BSK₅, N-NH₄, jejichž hodnota může být více než dvojnásobná. N_{celk.} i NL dosahují trojnásobné až čtyřnásobné hodnoty. Celkový fosfor obsažený ve vodách bývá taktéž vyšší než u stok gravitačních. Všechny tyto rozdíly jsou způsobené právě vysokým stářím odpadní vody a možností styku odpadní vody se vzduchem. Vlastní způsob dopravy už nemá vliv na jakost vody.

Poměr BSK₅:CHSK, který vyjadřuje, jak snadná je biologická degradace organické látky a poměr zastoupení biologicky nerozložitelných látek, je u vod s alternativním způsobem odkanalizování větší než u vod odváděných gravitační splaškovou sítí. [18] Je možné, že za

anaerobních podmínek bude docházet k přebytku lehce odbouratelného substrátu v síti (pozitivně se projeví na biologickém stupni ČOV, při odstraňování dusíku a fosforu).

Obecně vody alternativně odváděny na výstupu ze sítě mají vyšší teplotu, vyšší hodnoty koncentračního znečištění a mají stabilnější charakter (jejich objem i složení se výrazně nemění, u vod dopravovaných gravitační stokovou sítí se charakter mění s dobou zdržení, což souvisí s objemem – bezdeštný průtok, dešťový průtok). [24]

2.5 OPATŘENÍ PROTI PROBLÉMŮM NA SÍTI

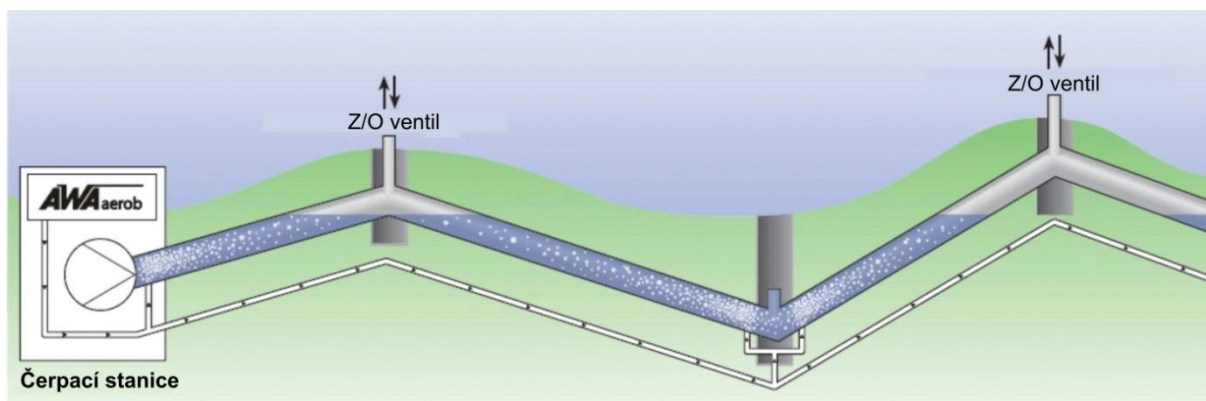
Těmto nežádoucím procesům, způsobeným vysokým stářím odpadní vody, jsme částečně schopni předcházet zavzdušňováním a proplachováním sítě.

2.5.1 Provzdušňování

Používá se tlakový vzduch zabraňující tvorbě anaerobního prostředí. Vháněním vzdušného kyslíku do potrubí zajišťujeme oxické prostředí, místo prostředí anoxického. Ideální čas pro aeraci je v době tzv. „klidové údobí“ odtoku (i čerpání) na síti, kdy má vzduch dostatek času, aby mohl vyprchat. Toto se děje jen pokud je síť správně navrhnutá. Druhou možností je ihned po aeraci čerpat vzduch do potrubí. Musí se aerovat zavčas, aby se zabránilo vzniku sjednocování bublin a tvoření pytlů.



Obrázek 6. Systém provzdušňování odpadní vody [2]

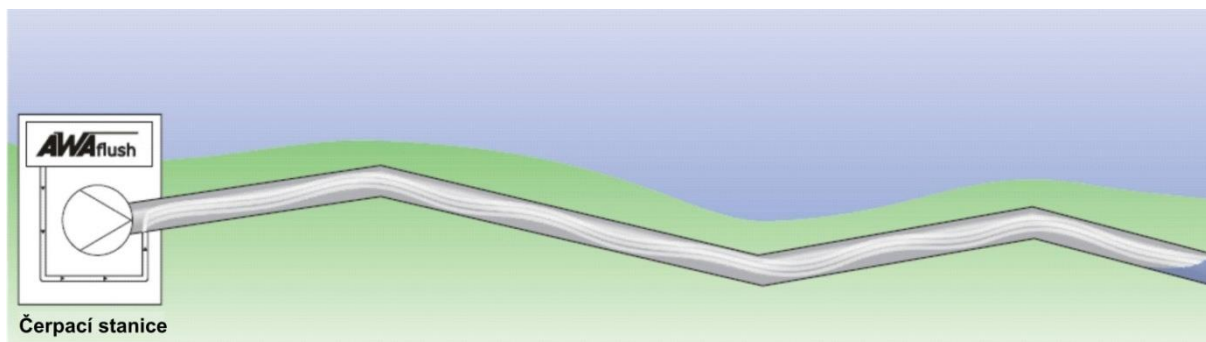


Obrázek 7. Pneumatický provzdušňovací systém [2]

2.5.2 Proplachování

Proplachovat stokovou síť můžeme buďto vzduchem nebo vodou. Je důležité upozornit, že proplachování neslouží k transportu odpadních vod. Je určeno úsekům, kde nejsme schopni dosáhnout minimální průtočné rychlosti 0,7 m/s, tudíž ani samočisticího efektu. Zvláště pro vody s nerovnoměrným přítokem.

Stejně jako na vodovodních sítích i zde můžeme pro snadnější užívání sítě osadit kalníky a hydranty. Funkce je obdobná, vypouštění úsad v nejnižších místech daných úsecích. Hydrantu však přibývá další možnost, možnost proplachování úseků, kde proplachování vzduchem nebylo dostačující.



Obrázek 8. Pneumatický proplachovací systém [2]

Obě tyto metody zajišťují okysličené prostředí, zabraňují vzniku anaerobního prostředí, v tlakových stokových sítích. Tím minimalizují tvorbu H_2S , zkracují dobu zdržení odpadních vod a uvolňují usazeniny. Funkci zajišťuje stanice tlakového vzduchu.

2.5.3 Trubní ježek

Vložení koule do komory a s pomocí čerpání se protlačí skrz celé výtláčné potrubí. Na konci se čistící koule odebere. Během procesu dochází k téměř dokonalému uvolnění biofilmu.

2.6 ANALÝZA STÁŘÍ VODY POMOCÍ VÝPOČTU

Výpočet stáří vody se dá provést více způsoby. Buď simulací v různých softwarech, nebo jednoduchým vzorcem. Bohužel takto vypočtené hodnoty jsou orientační a není zaručeno, že stáří vody bude stejné i v reálných situacích.

2.6.1 Matematický výpočet

Výpočet přibližné doby zdržení, tudíž stáří vody, je jednoduchý. Stáří vody vyjadřuje podíl objemu odpadních vod vyprodukovaných za den (čitatel) k celkovému objemu tlakové stokové sítě (jmenovatel).

$$T = \frac{V_{den}}{V_{sítě}} \quad (2.2)$$

Přesnou dobu zdržení odpadní vody v potrubí výpočtem nezískáme. Je závislá na mnoha faktorech, jako jsou délky potrubí, jeho drsnosti, množství vyprodukovaných odpadních vod, denní nerovnoměrnosti a jiných. Výpočtem dostaneme průměrnou hodnotu. V koncových úsecích stokové sítě bude stáří vody vždy větší.

2.6.2 Simulační softwary

Programů zabývajících se analýzou stáří vody je na trhu nemálo. Většina z nich jsou programy komplexní, které kromě analýzy stáří vody umožňují i modelování hydraulických modelů, simulaci havarijních stavů, sledování chemických koncentrací. Blíže se zaměřím na program Epanet, na jehož bázi je vytvořena většina dnešních programů zabývajících se vytvářením hydraulických modelů sítí.

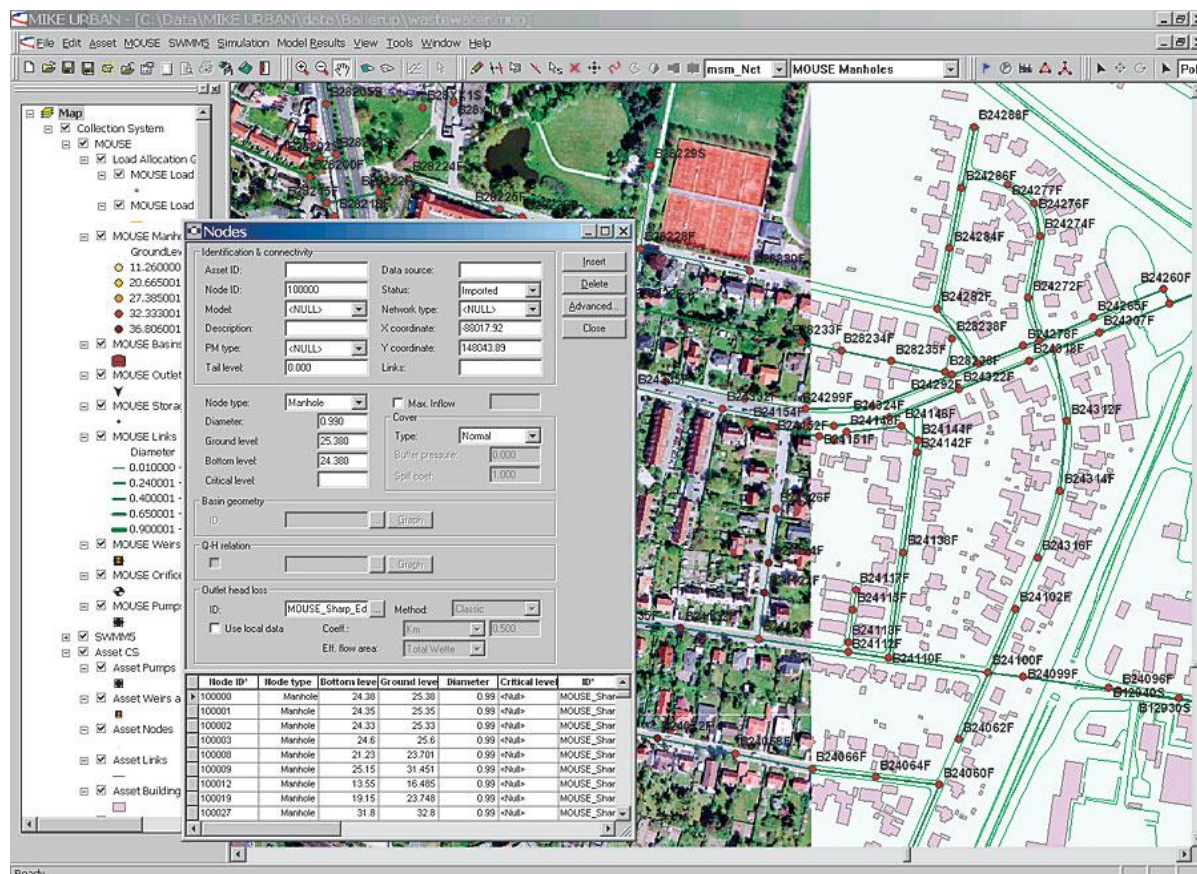
Mike urban – Mouse

Prvním ze zmíněných programů je Mike urban, konkrétně Mouse. Jeho původ je dánský a vytvořila ho neziskové organizace DHI. Jedná se software sloužící k modelování potrubí vodních sítí ve městech. Můžeme vytvořit model vodovodních rozvodů, odvodňovacích systémů i model kanalizace jak jednotné, tak oddílné. Je zde možno simulovat podkritické i kritické průtokové podmínky v částečně zaplněných, zaplněných a tlakových systémech.

Cílem programu je umožnit vytvořit a provozovat základní modely systémů sběru vody, analýzy a prezentovat výsledky simulace.

Dodatek Mouse značí zaměření na vody odpadní. Krom jiného umožňuje analýzu tvorby sulfidů v potrubí a sledování transportu polutantů. Při analýze stáří vody považuje výchozí stáří za nulové.

Jako většina programů v této oblasti vychází z programu Epanet. [6], [7]

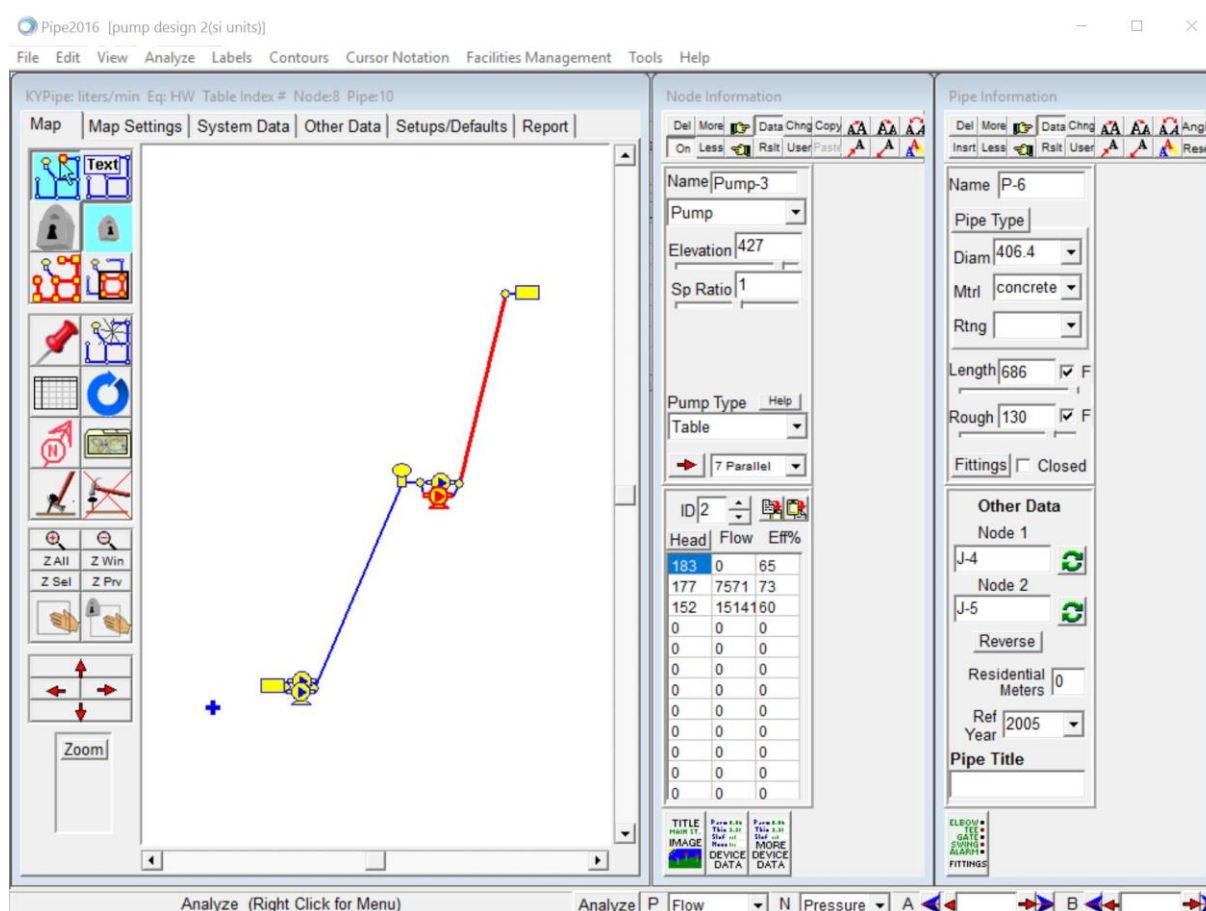


Obrázek 9. Pracovní plocha programu Mike urban [29]

Pipe 2016: KYPipe

Pipe 2016: KYPipe je jedním z nejčastěji používaných programů pro hydraulickou analýzu. Vznikl ve Spojených státech amerických, ve státě Kentucky. Dají se v něm tvořit modely pro vodu pitnou, pro ropu, rafinované chemikálie, chladicí kapaliny a tlakové systémy a další. Krom jiného je zde možné sledovat různé chemické koncentrace, například koncentraci chlóru, stanovit stáří a kvalitu vody na velikosti neomezených sítí.

Výhodou je přímý přístup k programu Epanet k provádění simulací kvality vody na stávajícím hydraulickém modelu. Prostřednictvím rozhraní s Epanetem je Pipe 2016: KYPipe schopen importovat a používat modely z různých zdrojů, které sdílejí formát datového souboru Epanet. [8] [9]



Obrázek 10. Pracovní plocha programu Pipe 2016 KYPipe [37]

WaterCAD

Další ze softwarů umožňující vytvářet hydraulické modely je WaterCAD. Uživatelé aplikace AutoCAD mohou spouštět modely výše zmiňovaného softwaru z AutoCADu. To umožňuje vytvářet a umístit model sítě s větší přesností. Slouží k výpočtu dynamického i kvazi-dynamického proudění. Dále umožňuje provádět analýzu stáří vody, simulovat havarijní události a jiné. Při analýze vody vychází z předpokladu, že voda v uzlech má nulové stáří.

Stejně jako programy předešlé, je vybudován na bázi Epanetu. [10] [11]

Aquis Operation

Systém umožňující sledovat kvalitu vody, stáří vody – průměrné, maximální i okamžité a její organoleptické vlastnosti, jako je chuť či pach.

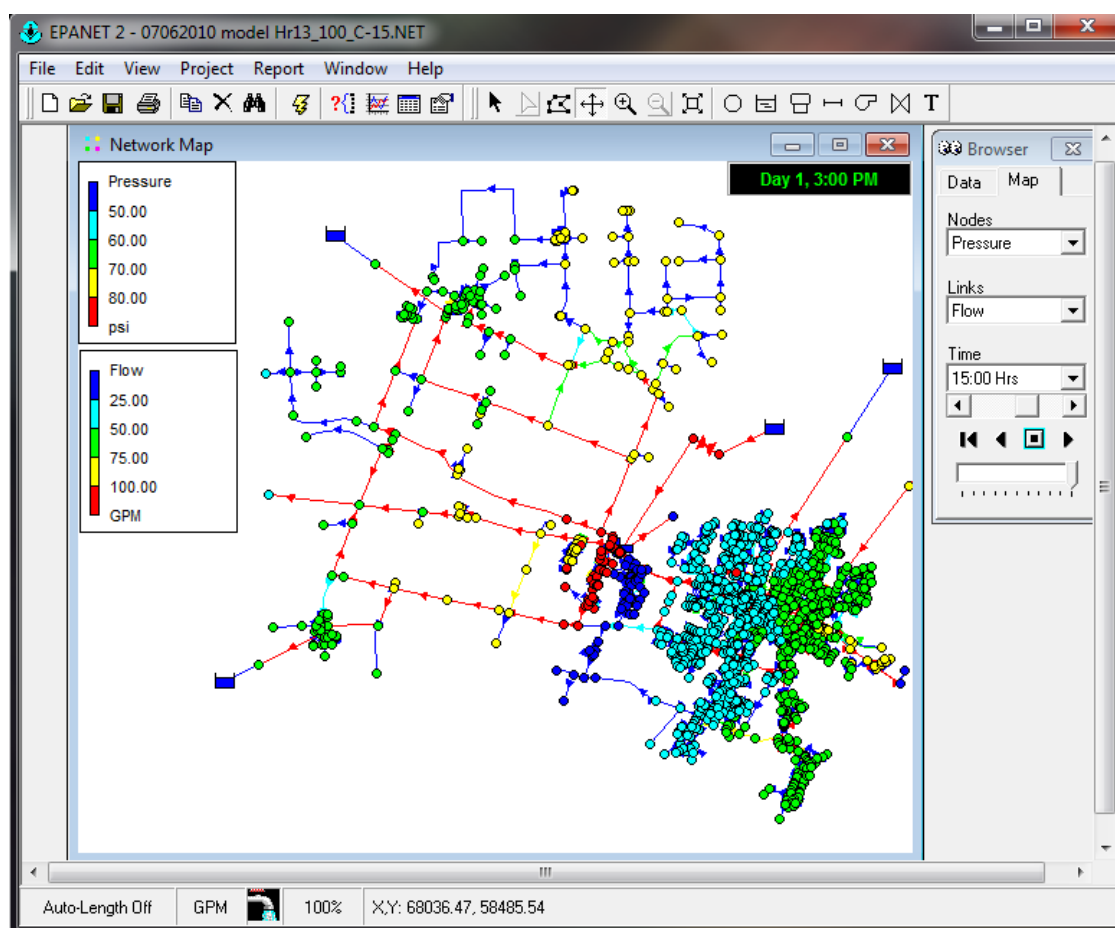
Opět vychází z programu Epanet, do kterého umí data exportovat, i z něj data importovat. [12] [13]

Epanet

Jedná se o výpočtový program vynalezen v Spojených státech amerických v Ohio agenturou United States Environmental Protection Agency's (U.S. EPA) – agentura pro ochranu životního prostředí, pro vodní zdroje. [14] Poprvé se objevil v roce 1993. [15] V dnešní době je výchozím programem pro většinu softwarů zabývajících se modelováním hydraulických sítí a kvalitou vody. Krom výše zmíněných je hojně využíván nejen v praxi, ale i ve školství.

Epanet 2.0 je volně k dostání jako samostatný program. Považuje se za jeden z nejlepších a nejpoužívanějších programů na trhu. Slouží k modelování distribučních systému a tlakových potrubních sítí. Dokáže měřit průtok vody v jednotlivých úsecích (potrubí, čerpadla), tlak v každém uzlu (spojení potrubí), výšku vody v nádržích a stáří vody. Je schopen předpokládat tok nereaktivních látek a za zjednodušených podmínek i látek reaktivních. Často se toho využívá při pozorování změny chloru v distribučních systémech. [17]

Při modelování lze využít možnosti podkladních map či schémat. Výstupů se můžeme dočkat v podobě tabulek, grafů a barevných map. [5] [16]



Obrázek 11. Pracovní plocha programu Eanetu 2.0 [38]

3 ANALÝZA STÁŘÍ VODY – PODHRADÍ NAD DYJÍ

V následující části práce se budu zabývat analýzou stáří vody v tlakové stokové síti, konkrétně obci Podhradí nad Dyjí. Podklady ke zpracování byly převzaty z realizovaného projektu. Následně byl vytvořen model stokové sítě v programu Epanet, ve kterém pak bylo simulováno zatížení kanalizační sítě. Cílem bylo ověřit, zda stáří vody v kanalizaci nepřesáhne 8 hodin, maximální dobu zdržení dle ČSN EN 1671. Simulace byla prováděna pro období jednoho týdne – 168 hodin.

3.1 POPIS STÁVAJÍCÍ TLAKOVÉ STOKOVÉ SÍTĚ

„Topologie sítě, nadmořské výšky potrubí, počet a rozmístění čerpacích stanic tlakové kanalizace byly převzaty z dodané situace stokové sítě. Světlosti potrubí jsou v celém systému navrženy s ohledem na navržený typ čerpadel a funkčnost sítě. Všechna čerpadla byla uvažována odstředivého typu s řezacím mechanismem a výtlačným hrdlem DN 40.“ [4]

Tlaková stoková síť se skládá ze dvou úseků, a to A2-1-1a a A2-1-1b. Stoka A2-1-1a je považována za hlavní z těchto dvou. Nejníže položené čerpadlo na tomto úseku je u koncového domu. Napojení přípojky z této jímky, je ve výšce 356,94 m n. m. Úsek je po celé délce stoupající. Ve vzdálenosti necelých 184 metrů od výše zmíněné koncové jímky se do stoky napojuje druhé rameno – A2-1-1b. Soutok probíhá v úrovni 359,33 m n. m. Na okraji této větve je přípojka z posledního rodinného domu připojena k potrubí ve výšce 361,90 m n. m. Větev je tedy klesající na délce cca 81 metrů. Společný úsek potrubí pak stoupá k revizní šachtě Š40, kde dochází k propojení gravitační a tlakové sítě. Tento úsek je dlouhý zhruba 16,5 metrů.

Přípojky, resp. úseky potrubí od domovní čerpací jímky po hlavní stoku jsou z PE100 De 50x4,6 SDR11 (DN40). Hlavní stoka je PE100 De 63x5,8 SDR (DN51).

Jedná se o 15 rodinných domů využívaných pouze rekreačně. Potrubí je navrženo tak, aby docházelo k proplachovací rychlosti $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ alespoň 1x za 24 hodin. Pracovní objem, při kterém bude čerpadlo čerpat, je nastaven v rozmezí 50–80 l.

3.1.1 Použité vstupní údaje

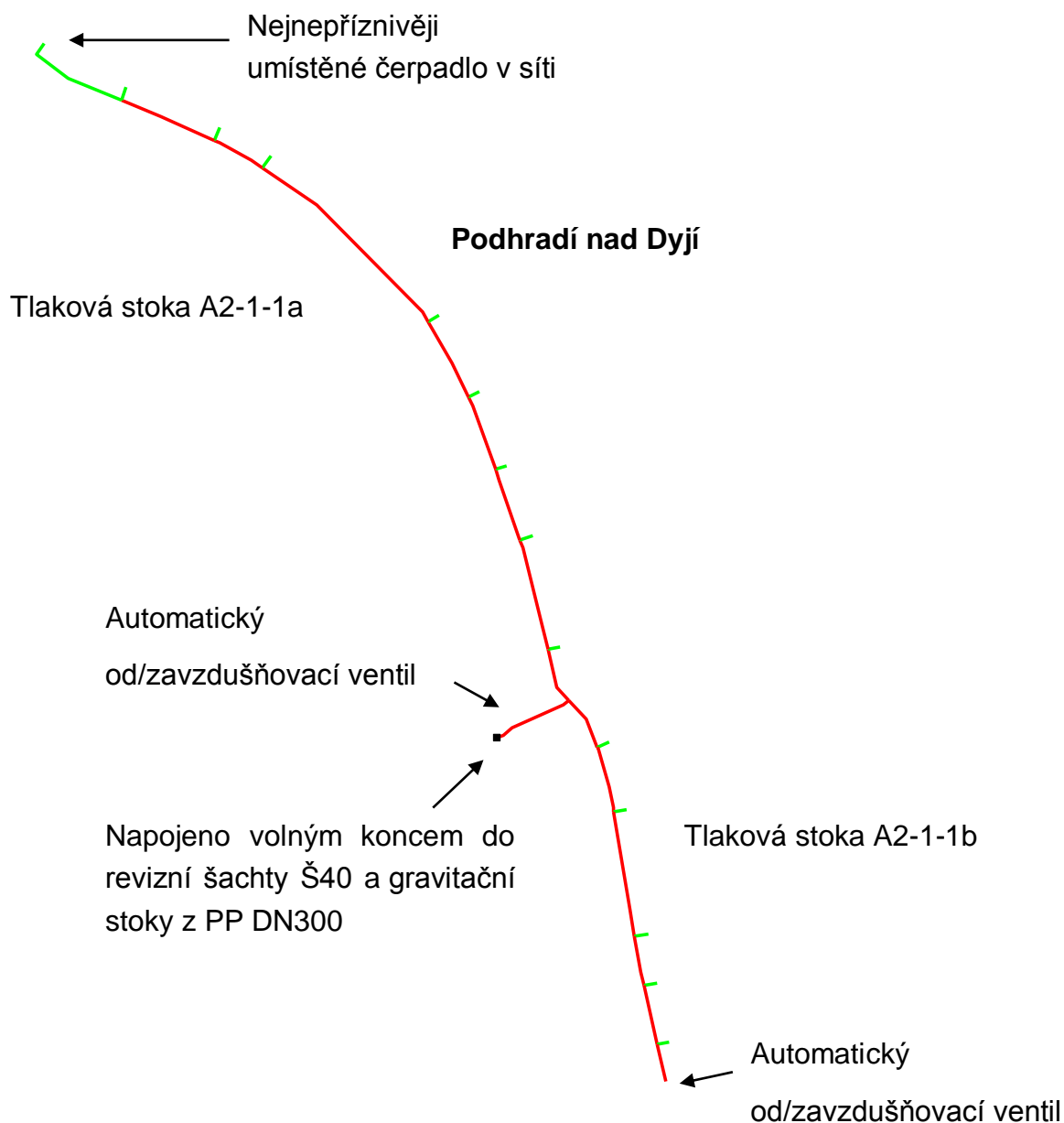
Nadmořské výšky – nadmořské výšky byly odečteny z poskytnuté situace řešené oblasti a podélných profilů. Soutok gravitační a tlakové sítě je v revizní šachtě Š40 na kótě 360,75 m n. m.

Délky úseků – délky úseků byly získány z dodané situace řešené oblasti.

Přípojky – hloubka uložení přípojek z čerpacích stanic byla uvažována jednotně, a to 2,0 m pod úrovní stávajícího terénu. Nadmořská výška původního terénu byla odečtena z poskytnutých podélných profilů potrubí. Délky přípojek jsou získány ze situace řešené oblasti.

Čerpací charakteristiky čerpadel – všech 15 čerpadel bylo uvažováno jako čerpadla stejná, odstředivá s řezacím mechanismem a výtlačným hrdlem DN 40. Pracovní bod čerpadla: Q/H : 9,5 m v. sl. / $1,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.2 TOPOLOGICKÉ SCHÉMA TLAKOVÉ KANALIZACE – PROFILY POTRUBÍ (4)



Legenda potrubí:

zelená (přípojky)	PE 50x4,6 SDR11 (DN40)
červená	PE 63x5,8 SDR11 (DN51)

3.2.1 Provozní zatížení

Při posuzování navržených dimenzí potrubí a charakteristik čerpadel byl nejdříve pomocí počtu pravděpodobnosti stanoven počet současně pracujících čerpadel v systému, který nebude nikdy překročen v době špičky (od 19 do 20h) a tudíž ani nikdy jindy. [4]

Celá tlaková kanalizace (obě stoky) 15 ČS – většinou RD využívané pouze rekreačně

0 čerpadel s pravděpodobností $p = 0,91$;

1 čerpadlo s pravděpodobností $p = 0,08$;

2 a více čerpadel celkem s pravděpodobností $p = 0,01$. [4]

Hodnoty pravděpodobností jsou založeny na těchto vstupních předpokladech:

- specifická produkce odpadní vody je $120 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$;
 - na jednu ČS jsou napojeni průměrně 3 obyvatelé;
 - každé čerpadlo bude do sítě čerpat průměrně $1,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ při požadované dopravní výšce.
- [4]

Jelikož je pravděpodobnost spuštění více než jednoho čerpadla minimální, je třeba, aby i při sepnutí právě jednoho čerpadla byla dosažena proplachovací rychlost $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Aby se předcházelo zápachu a vyhnívání, pracovní objem domovní jímky je nastaven tak, aby při 80 l čerpadlo začalo čerpat a při klesnutí objemu jímky na 50 l se vyplo.

Z těchto údajů vyplývá, že se jedná o oblast, kde hrozí překročení limitu stáří vody v potrubí.

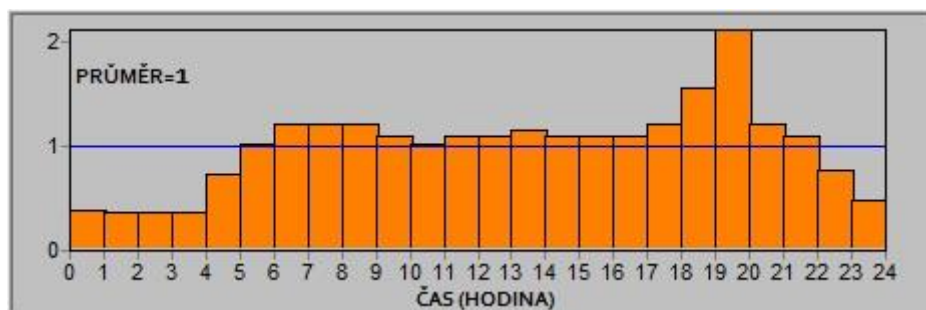
3.3 ZPRACOVÁNÍ V EPANETU

Data ze situace a podélných profilů byla zpracována a byl vytvořen simulační model. Dále do něj bylo nutno zadat vzor, dle kterého bude voda do jímek přitékat. Vycházelo se z předpokladu, že specifická potřeba pitné vody je shodná se specifickou produkcí vod odpadních, a to $120 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$. Bylo předpokládáno, že kanalizace odvádí odpady od 43 obyvatel. Denní produkce odpadních vod všech obyvatel činí $5,4 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1} = 0,0625 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Produkce jednoho rodinného domu je $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1} = 0,0042 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Při práci v programu Epanet, byly zadány jako výpočtové jednotky $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$, pro lepší představu však uvádím i výsledky v $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Vzor byl vytvořen podle průběhu potřeby vody v procentech potřeby celodenní, kde součinitel $k_h = 2,1$ a doba jednoho kroku je hodina.

Hodina	Součinitel k_h		Hodina	Součinitel k_h	
	1,8	2,1		1,8	2,1
0—1	1,0	1,6	12—13	5,0	4,6
1—2	0,7	1,5	13—14	5,0	4,8
2—3	0,7	1,5	14—15	4,0	4,6
3—4	0,7	1,5	15—16	5,0	4,6
4—5	2,0	3,0	16—17	5,0	4,6
5—6	3,0	4,2	17—18	6,0	5,0
6—7	5,0	5,0	18—19	6,5	6,5
7—8	6,4	5,0	19—20	7,5	8,8
8—9	4,5	5,0	20—21	5,0	5,0
9—10	5,5	4,6	21—22	5,0	4,6
10—11	5,5	4,2	22—23	4,0	3,2
11—12	5,5	4,6	23—24	1,5	2,0

Obrázek 12. Průběh potřeb vody v procentech potřeby celodenní [35]

Vzor pro přítoky do domovních čerpacích jímek pak vypadal takto:

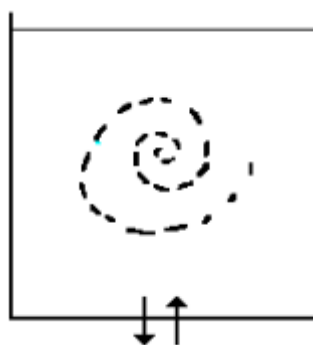


Obrázek 13. Rozdělení produkce odpadní vody během dne

Při zpracování nastal problém při analýze stáří vody. Po bližším zkoumání bylo zjištěno, že je chyba ve zvoleném typu promíchání odpadních vod v čerpacích jímkách. V tomto programu jsou 4 možnosti míchání vod v jímce. Pro nás jsou podstatné dvě, a to metoda Mixed a FIFO.

3.3.1 Typ míchání – Mixed [5]

Promíchávání typu Mixed zajišťuje kompletní promíchání a homogenizaci přitékajících vod s vodami stávajícími.

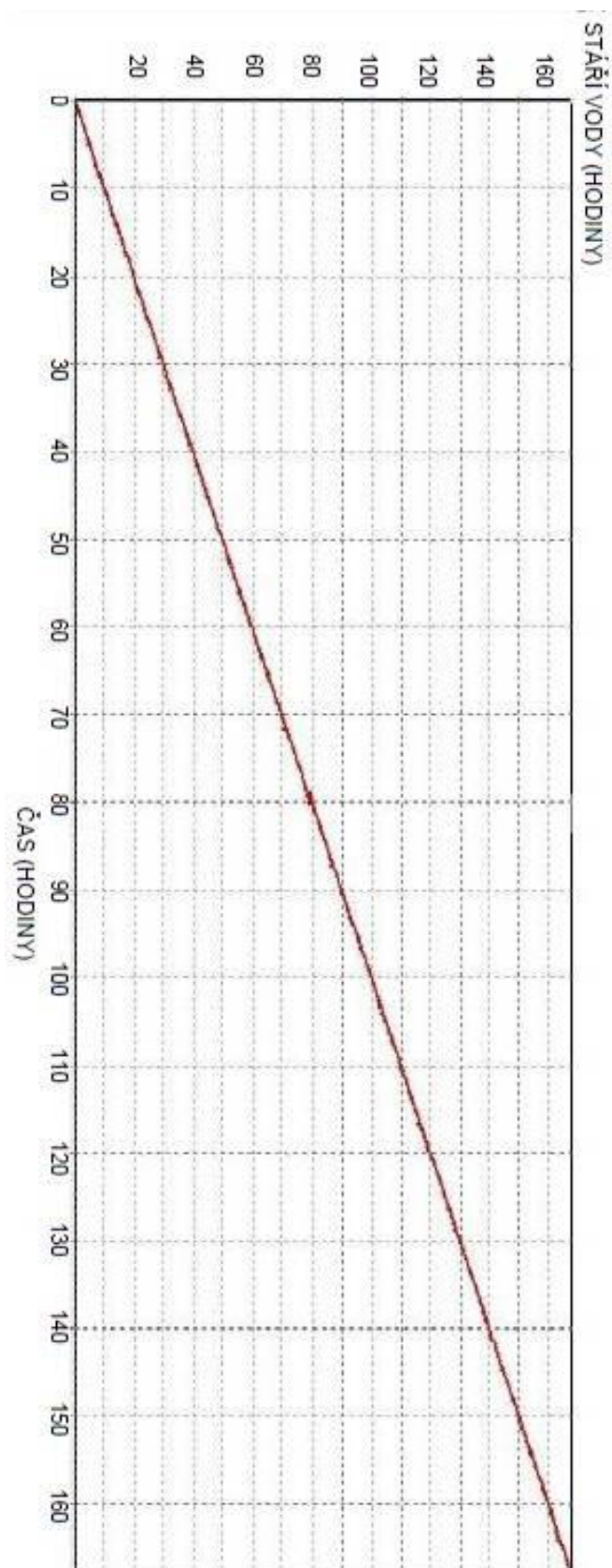


Obrázek 14. Schéma typu Mixed [5]

Tento typ míchání byl primární volbou. Ukázalo se, že je však nevhodný. Při tomto typu míchání se voda ředí, ale vždy ve vodě nové zůstane část vody původní. Je to způsobeno tím, že program Epanet bere v potaz jakousi elementární částici, která i po velkém množství naředění bude mít své původní vlastnosti jako na počátku. To platí i pro její stáří. Proces by se tedy mohl opakovat nekonečně mnohokrát a stáří vody vždy bude konstantně růst – s každou vteřinou se voda stává o vteřinu starší.

Výsledkem výpočtu stáří vody je graf, který můžeme vidět na Obrázku 15. Kvalita vody byla zaznamenávána každou minutu, doba vykreslování má také interval jedné minuty. Jedná se o výsledky z posledního úseku potrubí před propojením se stokou gravitační. Díky způsobu výpočtu je však platný pro každý úsek potrubí kdekoli na síti.

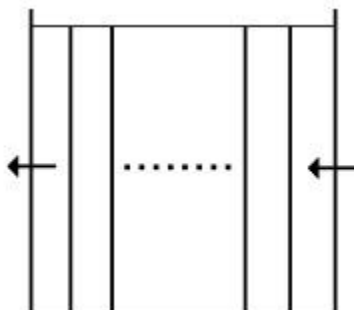
Z těchto poznatků je zřejmé, že metoda se pro naši potřebu využít nedá a požadovaných výsledků s ní nebude dosaženo.



Obrázek 15. Metoda Mixed - Závislost stáří odpadních vod na čase

3.3.2 Typ míchání – FIFO [5]

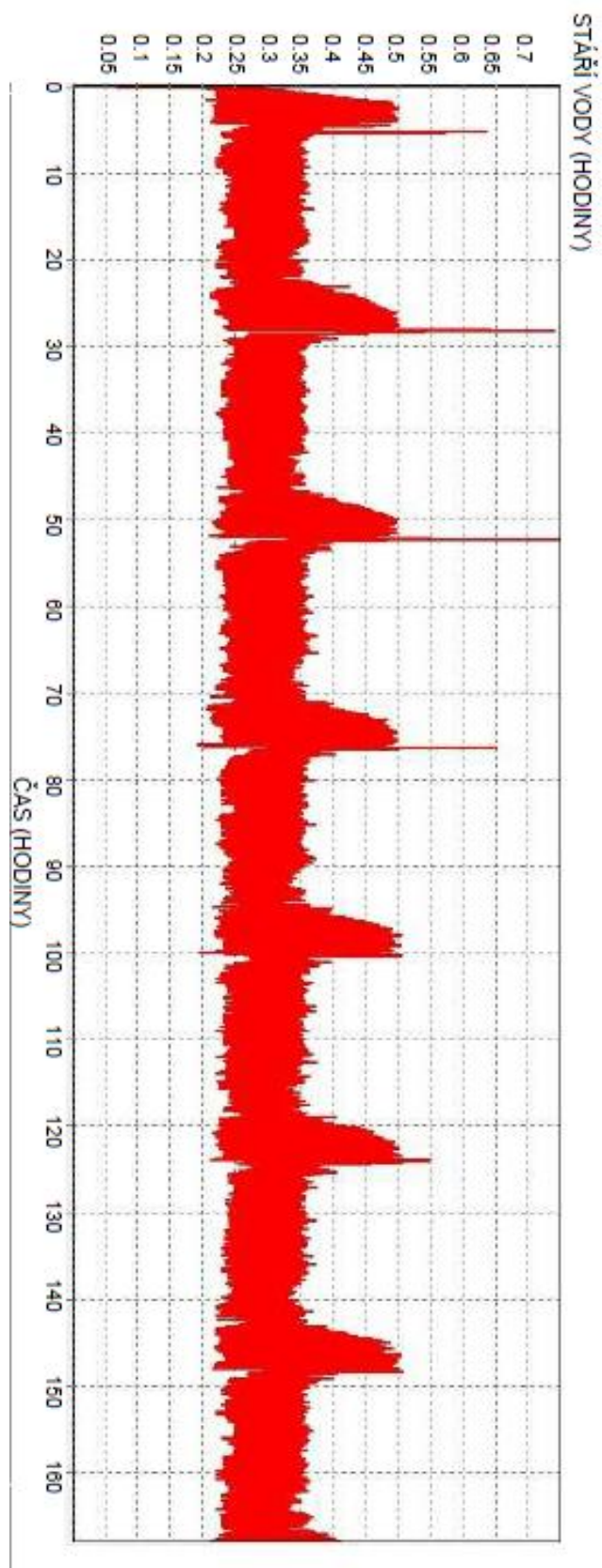
Metoda FIFO vychází z předpokladu, že nedochází k promíchávání odpadních vod. Voda v jímce je rozdělena do jednotlivých bloků – blok, který první přiteče, první i odeče (z anglického jazyka first-in-first-out).



Obrázek 16. Schéma typu FIFO [5]

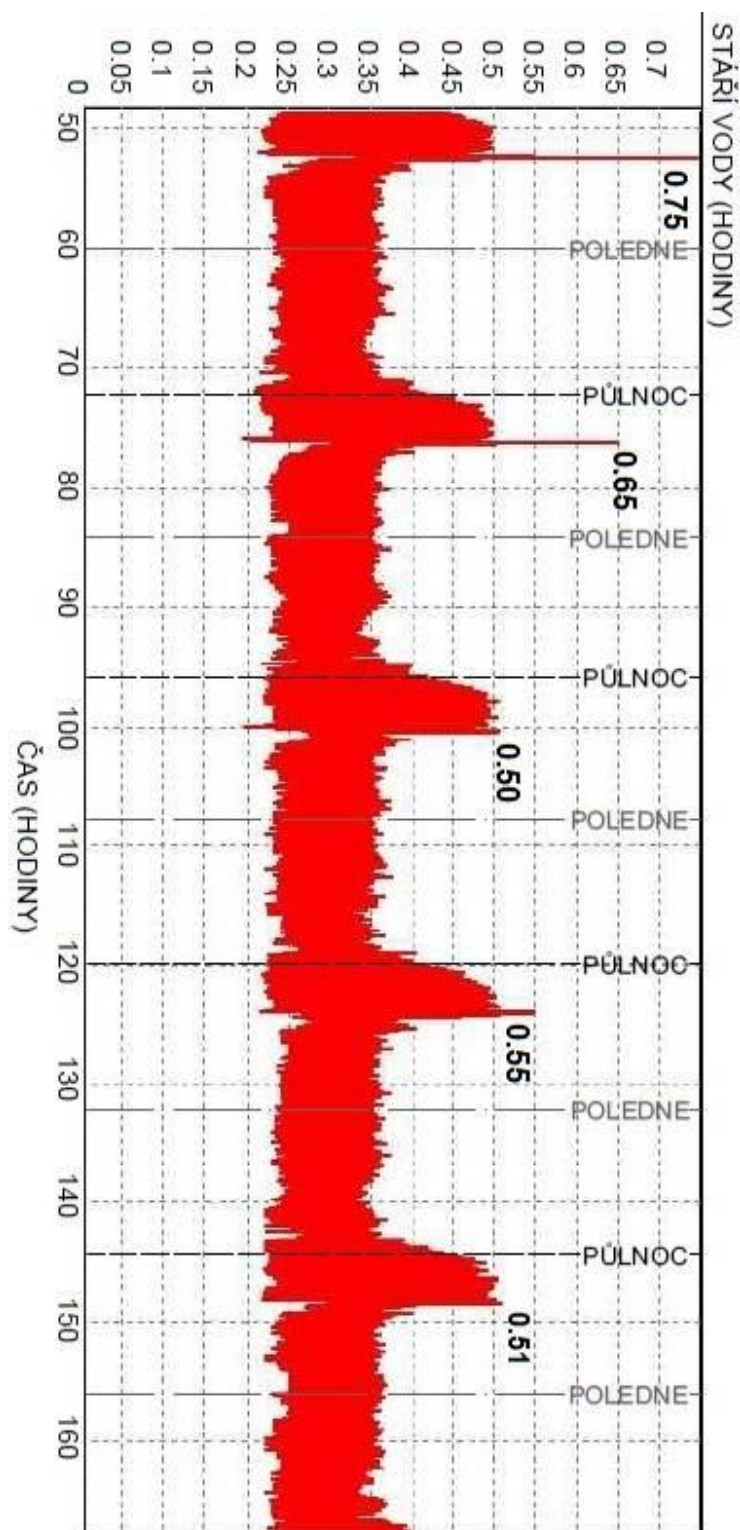
Způsob výpočtu při zvoleném typu míchání se ukázal jako správný a pro nás byl využitelný. Při pohledu na graf zobrazující závislost věku na čase (Obrázek 17.) můžeme vidět, že je proměnlivý, a tudíž výpočty probíhají, jak mají. Kvalita vody byla zaznamenávána každou minutu, doba vykreslování má taktéž interval jedné minuty.

Taktéž se jedná o výsledky z posledního úseku potrubí před propojením se stokou gravitační. Zde však platí pouze pro tento úsek, jiné úseky mají své grafy.



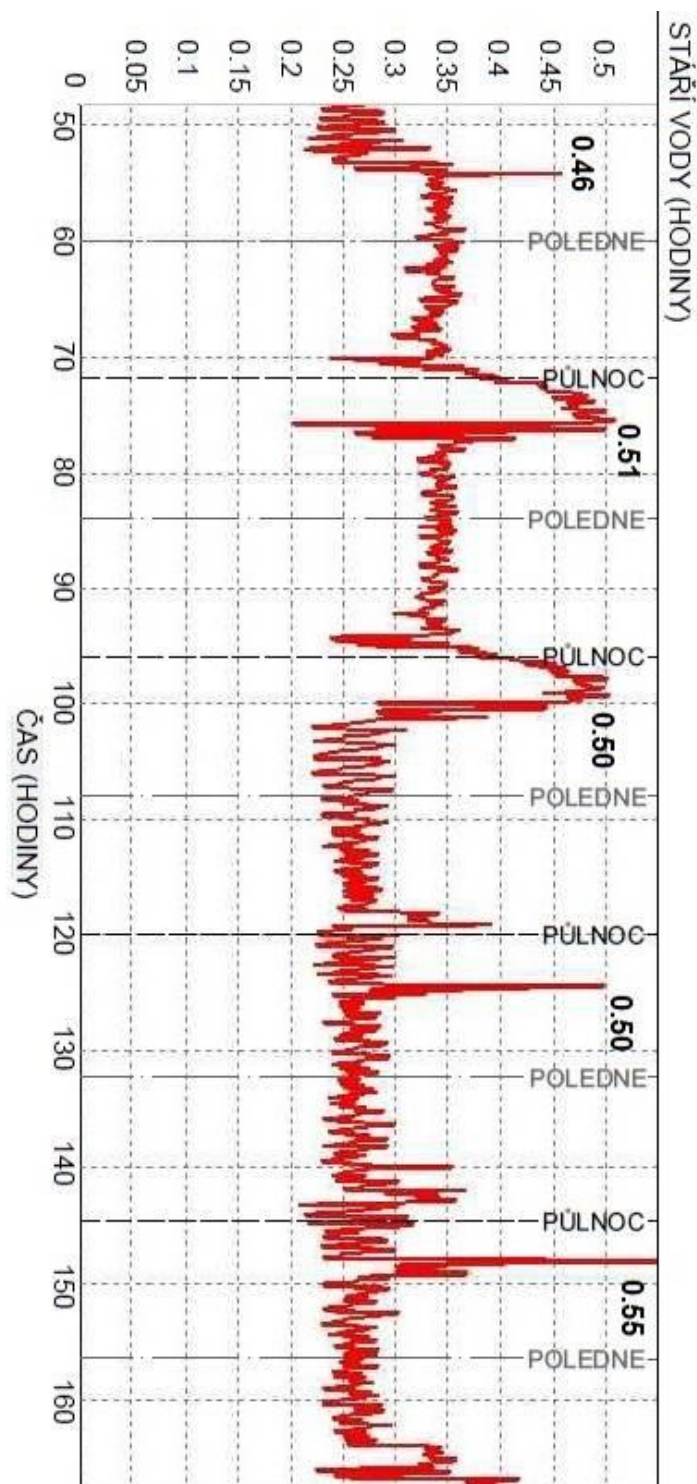
Obrázek 17 Metoda FIFO - Závislost stáří odpadních vod na čase

Z detailu po 48 hodinách je patrné maximální stáří vody, kterého voda dosáhne během celého týdne, a to 0,75 h, které dosáhne kolem 4. hodiny ráno třetího dne. K dalším vrcholům byly pro srovnání uvedeny v grafu maximální hodnoty.



Obrázek 18. Detail průběhu stáří vody

Aby bylo dosaženo přehlednějšího znázornění hodnot v grafu, byla potřeba změny časového kroku, ve kterém bude graf vykreslován. Časový krok zaznamenávání kvality odpadních vod byl zachován stejný jako u Obrázku 18., a to jedné minutě. Interval vykreslování vypočítaných hodnot byl 6 minut.



Obrázek 19. Detail průběhu stáří vody, interval vykreslování – 6 minut

Při srovnání těchto dvou detailů, lze vidět, že maximální hodnoty stáří vody jednotlivých dnů se značně liší. Maximální hodnoty se také liší a to značně. Při minutovém intervalu vykreslování, dosáhne voda stáří 0,75 hodiny, zatímco při intervalu vykreslování 6 minut maximální hodnota bude 0,55 hodiny. Reálný rozdíl je 12 minut.

Je potřebné být obezřetný při volbě nastavení výpočetních programů. Podrobnější vykreslení nemusí být vždy správnou volbou, na druhou stranu přehlednost grafu je na úkor přesnosti výsledků. Musíme vždy zvážit, co konkrétně nás z vyhodnocení zajímá a jaké informace chceme získat.

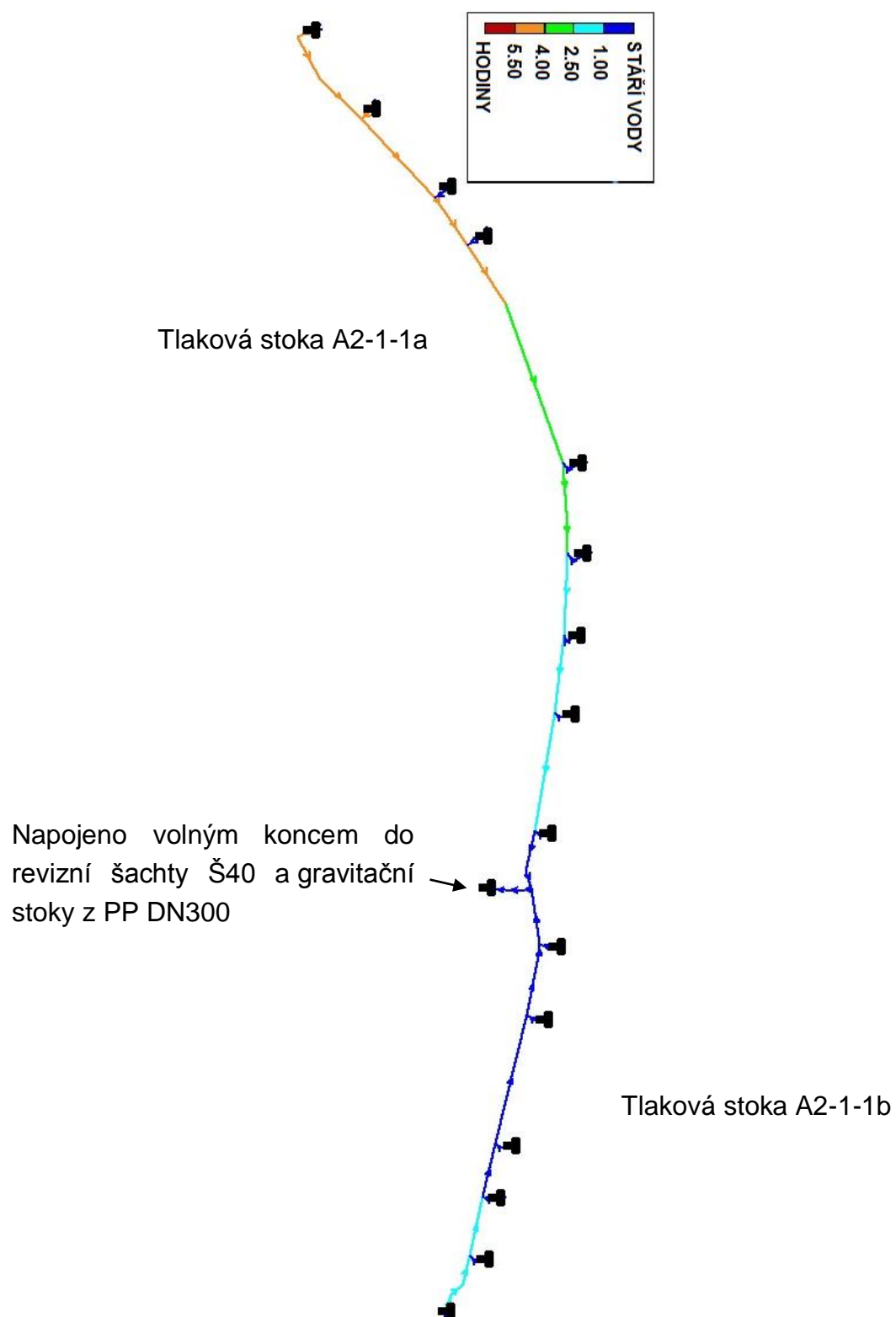
Dále jde s jistotou říct, že program pracuje dle výše zmíněného vzoru produkce odpadních vod (Obrázek 13.), který je shodný se spotřebou vody pitné. Můžeme vidět, že největšího stáří voda dosahuje v brzkých ranních hodinách, kdy lidé spí, a to zhruba od 11. hodiny večerní, až po 4. hodinu ranní. Během odpoledních a poledních hodin se maximální stáří vod pohybuje okolo hodnot 0,30 – 0,35 h. Patrný pokles nastává v hodinách pozdního odpoledne a v hodinách večerních.

3.4 ANALÝZA STÁŘÍ VODY

Při zpracování analýzy stáří vody byla využita pro promíchání odpadní vody v jímkách metoda FIFO. Časový krok zaznamenávání kvality odpadní vody byl nastaven na dobu jedné minuty a stejně tak výstupní graf zobrazuje změny v každé minutě po dobu 168 hodin. Začátek měření byl stanoven na půlnoc.

Výstupem je zobrazení maximálních hodnot výsledků na síti (Obrázek 20.), z kterých lze stanovit dva závěry:

- Je zřejmé, že nejstarší voda se vyskytuje v krajních úsecích tlakové stokové sítě. Tento výsledek se dal předpokládat a je způsoben tím, že stáří vody v krajních úsecích je závislé na jednom či dvou rodinných domech. Dále po síti je stáří vod závislé na větším množství domů a jejich čerpadel, a tudíž voda nedosáhne takového stáří, jako je stáří vod v krajních úsecích.
- Hlavním výsledkem je zjištění, že stáří vody **NEPŘESÁHNE** maximální požadovanou hodnotu 8 hodin v síti, jak požaduje norma ČSN EN 1671. Dokonce i hodnota 4 hodin, kdy začíná voda zapáchat, je překročena jen na malém úseku sítě. Maximální stáří odpadní vody nepřesáhne 5,5 hodin. Výjimkou je stav po plošném výpadku elektrického proudu, ten zde však neřešíme.



Obrázek 20. Maximální hodnoty výpočtu stáří vody

4 ZÁVĚR

Jelikož se odkanalizování pomocí tlakových stokových sítí v posledních letech rozmohlo, je důležité řešit problémy s tím vzniklé. Jedná se především o problémy způsobené vysokým stářím odpadních vod a tím zhoršenou celkovou jakost vody.

Doba zdržení odpadních vod je ovlivněna několika faktory, samotná doba však dle normy ČSN EN 1671 nesmí přesáhnout dobu 8 hodin. Tato doba může být různá v závislosti na národních a místních předpisech i na místních podmínkách. Snažíme se, aby stáří kalu bylo co nejmenší. Pokud však není možno dodržet dobu 8 hodin, musí být navržena zvláštní opatření proti zápachu a korozi, a systémy na ochranu životního prostředí

Hlavní tři problémy, na které jsem se v práci zaměřila, jsou plyny vznikající v potrubí, především H_2S , úzce související problém koroze potrubí a změny jakosti odpadních vod a jejich následné čištění na ČOV.

V dnešní době probíhá mnoho výzkumů a laboratorních pokusů, které se snaží zjistit, jak zabránit vzniku H_2S , nebo ho aspoň dlouhodobě utlumit. Zkouší se různé metody, od klasického provzdušňování, tak provzdušňováním čistým kyslíkem, či pH šokem. Jelikož vzniká v místech nahromaděných usazenin, je možností potrubí i proplachovat.

Pokud chceme zvýšit životnost potrubí, je nutné dobře promyslet zvolený materiál stoky i revizních šachet.

Jakostní ukazatele v TSS jsou rozdílní od ukazatelů ve splaškových vodách odváděných gravitačním způsobem. Znamená to, že i technologie čištění čistíren odpadních vod se musí těmto koncentracím znečištění přizpůsobit.

Při srovnání vod z tlakových stokových sítí a odpadních vod z gravitačních sítí je jejich charakteristika značně odlišná. Na tlakové stokové síti je vyšší koncentrace látkového i bilančního látkového znečištění. Vyšší koncentrace znečištění jsou především u „kyslíkových“ ukazatelů. To jsou CHSK, BSK₅, N-NH₄, jejichž hodnota může být více než dvojnásobná. N_{celk.} i NL dosahují trojnásobné až čtyřnásobné hodnoty. Celkový fosfor obsažený ve vodách bývá taktéž vyšší než u stok gravitačních. Poměr BSK₅:CHSK je u vod s alternativním způsobem odkanalizování větší než u vod odváděných gravitační splaškovou sítí. Dokonce i teplota vod z TSS bývá vyšší.

Celkově vzato, při navrhování tlakové stokové sítě, je nutno brát v potaz tyto problémy a snažit se navrhnout síť tak, aby bylo stáří dopravované vody co nejmenší. Využívají se k tomu simulační softwarové nástroje pro matematické modelování TSS.

V praktické části byl vytvořen hydraulický model tlakové stokové sítě a pomocí matematického modelování v programu Epanet násleně i provedena analýza stáří vody na konkrétním úseku sítě. Jednalo se o obec Podhradí nad Dyjí. Síť se skládá ze dvou úseků tlakových sítí, ke kterým je připojeno 15 rodinných domů využívaných především rekreačně.

Na modelu pak proběhla simulace jednoho týdne. Analýza ukázala, že maximální stáří vody na stoce dosažené nepřesáhne dobu 5,5 hodin. Hodnota 4 hodin, při které začíná voda zapáchat je překročena jen na malém úseu potrubí. Stáří vody v potrubí dle normy ČSN EN 1671 vyhovuje.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BEK, David. *Oxiduct – prevence zápachu a tvorby koroze v kanalizaci*. 10/2014.
- [2] Postupy pro eliminaci zápachu v místě vyústění kanalizace - Vodovod.info - portál vodárenství. *Home - Vodovod.info - portál vodárenství* [online]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/186-postup-pro-eliminaci-zapachu-v-miste-vyusteni-kanalizace#.WSV7Cevyipo>
- [3] *Piskac - family Web Site* [online]. Dostupné z: <http://www.piskac.cz/pavel/recenze/TIS/SIROVODIK.RTF>
- [4] RUČKA, Jan. *Odkanalizování obce Podhradí nad Dyjí, tlaková kanalizace*. Technická Zpráva.
- [5] *Innovyze - Innovating for Sustainable Infrastructure* [online]. Copyright © [cit. 20.05.2017]. Dostupné z: <http://www.innovyze.com/products/epanet/download/P1007WWU.pdf>
- [6] *DHI* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <https://www.dhigroup.com/upload/publications/scribd/mikebydhi-mikeurban-product-flyer.pdf>
- [7] Storm water and wastewater. *MIKE Powered by DHI* [online]. Copyright © DHI [cit. 20.05.2017]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/collection-systems>
- [8] *KYPipe / Pipe Network Analysis Software* [online]. Copyright © [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: https://kypipe.com/new_stuff/kypipe%20reference%20manual.pdf
- [9] Water Quality Analysis | KYPipe. *KYPipe / Pipe Network Analysis Software* [online]. Dostupné z: <http://kypipe.com/quality/>
- [10] *Nieuws - Drinkwater, industriewater, proceswater, afvalwater, riolering, waterbeheer, watermarkt, wereldwater, watervacatures, bedrijvenregister - Waterforum Online* [online]. Dostupné z: http://waterforum.net/uploads/Content/Bedrijf/watercad_product_data_sheet_140818123246.pdf
- [11] WATERC_1 | Auto Cad | Keyboard Shortcut. *Scribd - Read books, audiobooks, and more* [online]. Copyright © 2017 Scribd Inc. [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/101130139/WATERC-1>

- [12] Aquis Water Management Software | Schneider Electric Software. *Schneider Electric Software - Global Leader in Industrial Software* [online]. Copyright © 2015 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://software.schneider-electric.com/products/aquis/>
- [13] 7-Technologies: Program Aquis Operation - Description of functionalities in AQUIS Water Network Management and Leak Detection System [online]. Německo. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://aquis.s3.amazonaws.com/Collateral/AQUIS%20%20WHITE%20PAPER.pdf>
- [14] Rossman, L. A., "Computer Models/EPANET" in L. Mays, ed., *Water Distribution Systems Handbook*, Chapter 12, McGraw-Hill companies, Inc., New York, NY, 1999.
- [15] Rossman, L. A., "the EPANET Water Quality Model" in B. Coulbeck, ed., *Integrated Computer Applications in Water Supply*, Vol. 2, Research Studies Press Ltd., Somerset, England, 1993.
- [16] EPANET | Water Research | US EPA. *United States Environmental Protection Agency / US EPA* [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [17] TUHOVČÁK, L. et al. VODÁRENSTVÍ: B. Doprava vody. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s. r. o. 2006.
- [18] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. Praha : VŠCHT, 1999. 568 s. ISBN 80-7080-340-1
- [19] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. *Chemie a technologie vody*. 2. doplněné vydání. Údolní 56, 602 00 Brno, Česká republika : ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [20] BERÁNEK, Josef; PRAX, Petr. *Tlaková kanalizace*. Brno : NOEL s.r.o., 2000. 110 s.
- [21] GRÜNWALD, Alexander. *Chemie*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01241-7.
- [22] KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody : Otázky a odpovědi*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985. 128 s.
- [23] ČSN EN 1671: *Venkovní tlakové systémy stokových sítí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [24] MIFEK, Radim. *Vliv dopravy odpadní vody na její kvalitu a kvantitu*. Brno, 2011. Disertační práce. VUT v Brně.
- [25] KUBA, Petr; HAVLÍK, Vladimír. Možnost řízení tlakové kanalizace v reálném čase. In *Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV 2009 : sborník přednášek konference s mezinárodní účastí*. Brno : ARDEC s.r.o., 2009. s. 227-237. ISBN 978-80-86020-64-8

- [26] RUSNÍK, Igor ; HLAVÍNEK, Petr; MIFEK, Radim. Nové poznatky o vlivu dopravy odpadních vod na čistírnu odpadních vod. In *Městské vody 2010 : Sborník přednášek konference s mezinárodní účastí*. Brno : ARDEC s.r.o., 2010. s. 135-142. ISBN 978-80-86020-71-6.
- [27] HLUŠTÍK, Petr, et al. *Projekt vodní hospodářství obcí : Čištění odpadních vod*. Brno : VUT, fakulta stavební, 2006. 58 s
- [28] HLAVÍNEK, Petr, et al. *Stokování a čištění odpadních vod : stokování*. Brno : VUT, fakulta stavební, 2006. 131 s.
- [29] ArcNews Fall 2005 Issue -- The City of Ballerup, Denmark, Integrates Urban Water Modeling and GIS. *Esri: GIS Mapping Software, Spatial Data Analytics & Location Platform* [online]. Dostupné z: <http://www.esri.com/news/arcnews/fall05articles/city-of-ballerup.html>
- [30] RUCKA, Jan, Ondrej ANDRS a Jiri KOVAR. DESIGN OF THE PUMP CONTROLLER OF THE LOW PRESSURE SEWER NETWORK. *MM Science Journal* [online]. 2016, **2016**(06), 1654-1658 [cit. 2017-05-20]. DOI: 10.17973/MMSJ.2016_12_2016205. ISSN 18031269. Dostupné z: <http://www.mmscience.eu/december-2016.html#2016205>
- [31] RUCKA, Jan, Tomas SUCHACEK, Jiri KOVAR a Ondrej ANDRS. ASPECTS OF PRESSURE SEWERAGE SYSTEM DESIGN. *MM Science Journal* [online]. 2015, **2015**(04), 785-789 [cit. 2017-05-24]. DOI: 10.17973/MMSJ.2015_12_201562. ISSN 18031269. Dostupné z: <http://www.mmscience.eu/december-2015.html#201562>
- [32] PERNIČKA, Jan. *„SLOŽENÍ ODPADNÍCH VOD V SÍTÍCH TLAKOVÝCH STOKOVÝCH SYSTÉMŮ*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [33] GUTIERREZ, Oriol, Janani MOHANAKRISHNAN, Keshab Raj SHARMA, Rikke Louise MEYER, Jürg KELLER a Zhiguo YUAN. Evaluation of oxygen injection as a means of controlling sulfide production in a sewer system. *Water Research* [online]. 2008, **42**(17), 4549-4561 [cit. 2017-05-19]. DOI: 10.1016/j.watres.2008.07.042. ISSN 00431354. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135408003187>
- [34] JIANG, Guangming, Oriol GUTIERREZ a Zhiguo YUAN. The strong biocidal effect of free nitrous acid on anaerobic sewer biofilms. *Water Research* [online]. 2011, **45**(12), 3735-3743 [cit. 2017-05-20]. DOI: 10.1016/j.watres.2011.04.026. ISSN 00431354. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135411002156>
- [35] HERLE. *Směrnice pro výpočet potřeby vody*. 1975.

- [36] *Evropská databanka* [online]. 2014 [cit. 2017-05-26]. Dostupné z:
<http://nabidky.edb.cz/Nabidka-29695-Cerpacky-cerpaci-jimky-pro-gravitacni-a-pro-tlakovou-kanalizaci-ACS-automaticka-cerpaci-stanice>
- [37] Other Videos. *KYPipe* [online]. 2017 [cit. 2017-05-26]. Dostupné z:
http://kypipe.com/other_videos/
- [38] Epanet. *Wayne state university* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z:
<http://engineering.wayne.edu/wsuvater/hydraulics/epanet.php>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1. Látky obsažené v moči [19].....	12
Tabulka 2.2. Produkce znečišťujících látek v g/obyv. den [19].....	12

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Tvorba kyseliny sírové na vnitřní straně kanalizace [1]	7
Obrázek 2. Axiální předávací šachty na tlakové kanalizaci – zleva nejčastější, ale ne moc vhodná – vpravo vhodné provedení šachty [2]	7
Obrázek 3. Vnos kyslíku do tlakové kanalizace [1]	8
Obrázek 4. Procesy vedoucí ke vzniku zápachu nebo kyseliny sírové [2]	9
Obrázek 5. Čerpací jímka pro tlakovou kanalizaci [36]	11
Obrázek 6. Systém provzdušňování odpadní vody [2]	16
Obrázek 7. Pneumatický provzdušňovací systém [2]	17
Obrázek 8. Pneumatický proplachovací systém [2]	17
Obrázek 9. Pracovní plocha programu Mike urban [29]	19
Obrázek 10. Pracovní plocha programu Pipe 2016 KYPipe [37]	20
Obrázek 11. Pracovní plocha programu Eanetu 2.0 [38]	21
Obrázek 12. Průběh potřeb vody v procentech potřeby celodenní [35]	25
Obrázek 13. Rozdělení produkce odpadní vody během dne	25
Obrázek 14. Schéma typu Mixed [5]	25
Obrázek 15. Metoda Mixed - Závislost stáří odpadních vod na čase	27
Obrázek 16. Schéma typu FIFO [5]	28
Obrázek 17 Metoda FIFO - Závislost stáří odpadních vod na čase	29
Obrázek 18. Detail průběhu stáří vody	30
Obrázek 19. Detail průběhu stáří vody, interval vykreslování – 6 minut	31
Obrázek 20. Maximální hodnoty výpočtu stáří vody	33

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TSS ... tlaková stoková síť

ČOV ... čistírna odpadních vod

DČJ ... domovní čerpací jímka

DN ... jmenovitá světlost

BSK ... biochemická spotřeba kyslíku

CHSK ... chemická spotřeba kyslíku

NL ... nerozpuštěné látky

RL ... rozpuštěné látky

N-NH₄ ... amoniakální dusík

N-NO₃ ... dusičnany

N-NO₂ ... dusitany

N_{anorg} ... anorganický dusík

N_{celk} ... celkový dusík

P_{celk} ... celkový fosfor

SUMMARY

This bachelor thesis deals with the analysis of water age in the low pressure sewer network. I focus more on three major issues caused by the age of water – corrosion, gases in the pipeline, deteriorated water quality. Gases in the pipeline are major problem. Specifically H_2S . Hydrogene sulphide is toxic and caused problems in wastewater treatment plant. Deteriorated water quality is a big problem too. Wastewater treatment plant can't clean water with deteriorated quality caused unwanted concentrations of pollutin increased. The thesis is also focused on computer programs, that are able to simulate the low pressure sewer network and analyze the age of water in it. Specifically: Mouse, Pipe 2016: KYPipe, WaterCAD, Aquis Operation a Epanet. The practical part of the thesis is focused on a particular example of low pressure sewer network that consists two sections in the town of Podhradí nad Dyjí. The computational hydraulic model was created in the Epanet program, where the analysis of water age was performed. I evaluate the results according to the standart CSN EN 1671.